

DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XXXIV.

I. *Ueber die bei der Beleuchtung entstehende
electromotorische Kraft im Selen;
von W. von Uljanin.*

(Hierzu Taf. II Fig. 1.)

I. Einleitung.

Die Ersten, welche eine electromotorische Kraft bei der Beleuchtung des Selen bemerkten, waren Adams und Day.¹⁾ Ein im Sandbade krystallinisch gemachter Selenstab, an den als Electroden Platindrähte angeschmolzen waren, wurde an einem Ende beleuchtet. Es zeigte sich ein Strom vom dunklen Ende zum beleuchteten, manchmal aber umgekehrt. Ein zweiter Selenstab zeigte eine ganz ähnliche Erscheinung, ein drittes vom gleichen Stück abgebrochenes Stäbchen war nicht electromotorisch erregbar.

Erst im Jahre 1881 machte Kalischer²⁾, eingedenk der Entdeckung von Adams und Day, einige Versuche in dieser Richtung. Er benutzte dazu eine Selenzelle, deren Electroden von zwei auf einer Glasröhre sehr nahe aufgewundenen Messingdrähten gebildet wurden. Er beleuchtete sie mit Sonnenlicht durch eine sich drehende durchlöchernte Scheibe und bekam einen Ton im Telephon. Nur eine Stelle des Präparates war electromotorisch erregbar, und diese war auch in Bezug auf die Widerstandsänderung die empfindlichere. Bei längerem Gebrauche entstand eine Ermüdung der Zelle, von der sie sich im Dunkeln nach einiger Zeit erholte. Der Widerstand der Zelle nahm mit der Zeit ab, und die Erregbarkeit wurde immer geringer, bis sie nach einigen Monaten ganz verschwand.

1) Adams u. Day, Proc. Roy. Soc. 25. p. 113. 1876.

2) Kalischer, Rep. d. Phys. 17. p. 563. 1881.

Besonderes Interesse verdienen die Arbeiten von Fritts.¹⁾ Er construirte eine ganz neue Art von Präparaten, welche zur Erzeugung von Strömen durch Beleuchtung sehr geeignet sind. Das Selen hat die Form eines sehr dünnen Scheibchens, welches durch Erwärmen krystallinisch gemacht ist. Eine Electrode wird durch ein Messingblech gebildet, an dem das Selen haftet, die andere besteht aus durchsichtigem Blattgold, durch welches hindurch das Präparat beleuchtet wird. Durch diese Anordnung entsteht der grosse Vorzug vor den früheren Präparaten, dass nur eine Electrode beleuchtet wird, während die andere im Dunklen bleibt. Die Hauptresultate seiner Beobachtungen in Bezug auf die auftretende electromotorische Kraft lassen sich in Folgendem zusammenfassen:

1) Viele von den Präparaten zeigen bei Beleuchtung eine beträchtliche²⁾ Potentialdifferenz. Der Strom, welcher von der hinteren Electrode durch die äussere Leitung zur vorderen Goldelectrode fliesst, ist constant. Der Strom erscheint sogleich bei der Beleuchtung und verschwindet ebenso schnell beim Verdunkeln. (Fritts spricht die Vermuthung aus, dass bei diesen Senelementen die Lichtenergie direct in electriche Energie verwandelt werde.)

2) Es scheint kein Zusammenhang zu sein zwischen der Widerstandsempfindlichkeit und der Erregbarkeit der Präparate. Die besten Photoelemente sind stark polarisirbar und zeigen eine starke Widerstandsänderung beim Umkehren des Stromes.

Bald nach Erscheinen dieser Fritts'schen Arbeiten theilte Siemens³⁾ der Berliner Academie einige Versuche mit zwei ihm von Fritts gesandten Senelementen mit. Eines derselben gab einen beständigen Strom bei der Beleuchtung, der bis zum Aufhören derselben ungeschwächt fort dauerte. Er erklärt sich mit der Vermuthung von Fritts,

1) Fritts, Sill. Journ. 126. p. 465. 1883 u. Lumière électrique. 15. p. 226. 1885.

2) Die Grösse derselben ist nicht angegeben.

3) Siemens, Berl. Ber. 1885. p. 147; Phil. Mag. (5) 19. p. 315. 1885.

dass der entstehende Strom direct verwandelte Lichtenergie sei, einverstanden.

Auf Veranlassung von Hrn. Prof. Kundt habe ich die Untersuchung über Erzeugung electromotorischer Kräfte im Selen durch Beleuchtung nochmals aufgenommen. Die Hauptaufgabe war, eine zuverlässige Methode zur Herstellung wirksamer Selenpräparate zu finden.

II. Die verschiedenen Selenarten.

Ich hatte im ganzen drei verschiedene Selenarten zur Verfügung, welche aus drei verschiedenen Fabriken als chemisch-reines Selen in Stäben bezogen worden waren.

Nr. I, von Nöllner in Darmstadt, war röthlichbraun, zeigte im geschmolzenen Zustande eine spiegelglatte Oberfläche, welche beim raschen Abkühlen auch so erstarrte, und hatte die Eigenschaft, durch Erwärmen sehr leicht und schnell in eine mattgraue krystallinische Modification überzugehen.

Nr. II, von Trommsdorff in Erfurt, war glänzend schwarz. Geschmolzen hatte es eine matte Oberfläche, es war gleichsam mit einer Haut bedeckt. Beim raschen Abkühlen blieb die Oberfläche theilweise mattschwarz und uneben. Es krystallisirte beim Erwärmen nicht so schnell.

Nr. III, von Merck in Darmstadt, war ebenfalls glänzend schwarz, zeigte aber geschmolzen eine glänzende Oberfläche wie Nr. I. Es krystallisirte noch leichter als Nr. I.

Hr. Prof. Rose hatte die Freundlichkeit, diese drei Selenarten im hiesigen chemischen Institute quantitativ untersuchen zu lassen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte. Das Resultat der Analyse ist in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei die Zahlen Procente bedeuten. Die eingeklammerten Zahlen geben die Maximalmengen an, welche vorhanden sein können. Wahrscheinlich sind die wirklich vorhandenen Mengen noch beträchtlich geringer.

	Nr. I	Nr. II	Nr. III
S	1,22	0,11	0,17
Hg	(0,05)	0,12	—
Sb	(0,22)	(0,13)	—
As	(0,07)	(0,03)	—
Pb, Bi, Cu	(0,11)	(0,19)	—

Ich muss gleich hier bemerken, dass in den fertigen Präparaten diese drei verschiedenen Selensorten keinen merklichen Unterschied zeigten; daraus folgt, dass innerhalb dieser Grenzen die beigemengten fremden Metalle keinen Einfluss auf die Eigenschaft der Präparate haben.

Nr. I ist zur Herstellung der empfindlichen Präparate nach der endgültigen Methode nicht verwendet worden. Dieselben sind entweder aus Nr. II oder III hergestellt.

III. Herstellung der Präparate.

Vor allem versuchte ich, Präparate in der Art der Fritts'schen herzustellen, da ich den grossen Vorzug einsah, welchen eine Beleuchtung in der Richtung des Stromes bietet. Leider aber sind von Fritts in seinen Arbeiten gar keine näheren Angaben gemacht über die Art und Weise, wie er den Strom von der Goldelectrode weiterführt. Ich versuchte es auf verschiedene Weise, sowohl durch Anklebmen eines Stanniolkissens, als auch durch Anlöthen. Beide Contacte waren sehr unsicher. Ferner haftete das angedrückte Blattgold nicht fest am Selen, sondern blätterte sich mit der Zeit ab. Nebenbei machte ich einige Präparate nach den früheren Mustern von Siemens, Adams und Day, Bidwell. Zwei Drähte von gleichen oder auch verschiedenen Metallen wurden möglichst nahe auf eine Glasplatte aufgewickelt und die Zwischenräume zwischen ihnen mit Selen ausgefüllt. Diese Präparate zeigten bei der Beleuchtung eine Widerstandsabnahme bis zu 80 Proc., aber absolut keine electromotorische Kraft. Auf den Rath von Hrn. Prof. Kundt ersetzte ich nun das Gold an den Fritts'schen Präparaten durch Platinspiegel.¹⁾ Ausser ihrer Festigkeit haben solche Spiegel vor dem Blattgold den grossen Vorzug, dass sie das ganze Spectrum fast gleichmässig abgeschwächt hindurchlassen. Es wurde also nun an ein auf einem Messingblech krystallinisch gemachtes Selenscheibchen als zweite Electrode ein Stück Platinspiegel mit einer Klemme fest angepresst. Zur Weiter-

1) Glas, auf welchem eine dünne, durchsichtige Platinschicht eingebrannt ist.

leitung des Stromes wurde an das Platinglas ein Streifchen Messingblech angelöthet. Als sich mehrere mal die Selenplättchen beim Krystallinischmachen von ihrer Messingunterlage trennten, klemmte ich sie zwischen zwei Platinspiegel, um sie von beiden Seiten beleuchten zu können. Auf diese Weise wurden sehr viele Präparate hergestellt, welche bei der Beleuchtung eine electromotorische Kraft zeigten. Dass durch das Anklebmen der Contact zwischen Selen und Platinspiegel ein schlechter und leicht veränderlicher war, war nicht von wesentlicher Bedeutung, da die electromotorischen Kräfte am Electrometer gemessen wurden. Später überzeugte ich mich, dass die Präparate ebenso empfindlich wurden, wenn das Selen, anstatt auf Messing, auf Glas geschmolzen wurde. Dies erlaubte nun, das Selen gleich zwischen den als Electroden dienenden Platinspiegeln zu schmelzen. Dadurch wurde der Contact zwischen Selen und Platinspiegeln ein viel besserer, und deshalb der Widerstand ein kleinerer als früher. Erst dann wurde es möglich, ein Galvanometer zu benutzen. Nach der zuletzt erwähnten Methode, welche sich besser als die vorhergehenden bewährte, werden die Präparate folgendermassen hergestellt:

Zwei gleich grosse Stücke Platinglas, auf welchen das Platin fest eingebrannt ist, werden, nachdem sie sorgfältig mit einem Leder abgerieben worden sind, auf eine dicke Eisenplatte gelegt, welche von unten mit einem Bunsen'schen Brenner erhitzt wird. Wenn die Spiegel heiss genug sind, wird der eine von ihnen mit einem Selenstäbchen bestrichen, der andere wird dann sogleich heiss darauf gedrückt, nachdem vorher zur Verhütung einer directen Berührung beider Platinspiegel dünne Glimmerstreifchen aufgelegt worden sind. Die beiden Spiegel werden so aufeinander gelegt, dass von jedem ein Stück über den Rand des anderen herausragt. An diese werden die Messingstreifen angelöthet. Sodann wird das Präparat von der heissen Metallplatte abgenommen und zwischen mehreren Lagen Papier unter dem Drucke eines Gewichtes abgekühlt. Die Selenschichte nimmt dann die Dicke der dazwischen liegenden Glimmerstreifchen an. — Dieselbe betrug 0,05 bis 0,15 mm.

Wenn die Selenschicht erstarrt ist, haften die zwei Gläser so fest zusammen, dass sie kaum auseinander zu reißen sind. Da aber das Selen im krystallinischen Zustande brüchiger ist, wurden die Präparate mit zwei Drähten zusammengebunden.

Die Ueberführung des Selens aus dem amorphen Zustand in einen krystallinischen, wodurch erst das Präparat für Licht empfindlich wird, geschieht allgemein durch sehr langes Erwärmen und sehr langsames Abkühlen. Fritts gibt eine bestimmte Vorschrift, nach der zu verfahren wäre, nicht an. Man muss sich deshalb an die Angaben früherer Beobachter halten.

Adams und Day¹⁾ gruben in ein Sandbad eine zur Rothgluth erhitzte eiserne Kugel ein, nahmen sie nach einiger Zeit heraus und setzten an ihre Stelle das Selenpräparat. Die zahlreichsten und genauesten Untersuchungen über die bei verschiedenen Temperaturen erhaltenen Selenmodificationen machte Siemens.²⁾ Er fand, dass man durch Erhitzen auf 100° eine andere Modification erhält, als durch Erhitzen auf 200°. Die erste Modification, die „krystallinische“, leitet wie ein Electrolyt, d. h. ihr Widerstand nimmt mit wachsender Temperatur ab; die zweite, die „metallische“, ändert ihre Leitungsfähigkeit wie die Metalle. Diese fand er in Bezug auf die Widerstandsänderung viel lichtempfindlicher als die „krystallinische“. Er benutzte ein Bad von Steinöl und erhitze zwei Stunden lang.

Ich versuchte der Einfachheit halber das Sandbad; die Präparate wurden, in Papier gewickelt, in die Mitte eines ziemlich grossen Sandbades vergraben. Dasselbe wurde mit einem grossen Gasbrenner erhitzt. Wenn die Temperatur bis 200° gestiegen war, wurde der Gashahn abgedreht und die Präparate erst dann herausgenommen, wenn sich das Sandbad abgekühlt hatte. Dies dauerte 3—4 Stunden. Auf diese Weise erhielt ich sehr viele empfindliche Präparate, nur war diese Methode nicht sicher; oft sind ganze Partien,

1) Adams u. Day, l. c.

2) Siemens, Pogg. Ann. 159. p. 117. 1876 und Wied. Ann. 2. p. 521. 1877.

welche auf einmal im Sandbad erwärmt wurden, unempfindlich ausgefallen. Auch wurden die empfindlichen Präparate durchaus nicht alle gleich, sondern zeigten oft die verschiedensten Eigenschaften.

Bell¹⁾ sagt in der Beschreibung seines Photophons, die beste und schnellste Methode, das Selen empfindlich zu machen, sei, das Präparat auf einer dicken Metallplatte nicht ganz bis zur Schmelztemperatur zu erhitzen; dann gehe sehr schnell das amorphe Selen in körniges, krystallinisches über, man könne es dann beliebig schnell abkühlen. Auf diese Weise gelang es mir, einige recht empfindliche Präparate herzustellen. Vortheilhaft ist diese Methode hauptsächlich wegen der kurzen Zeit, die sie erfordert; in einigen Minuten verwandelt sich die schwarze, glänzende Selenoberfläche in eine mattgraue, körnige, und das Präparat ist fertig. Nur ist diese Methode noch unsicherer als die vorhergehende, weil jede Controle über die erreichte Temperatur unmöglich ist.

Zuletzt wandte ich die Siemens'sche Methode an, welche sich auch als die bei weitem beste erwies. Es wurden zu diesem Zwecke die Präparate in ein Paraffinbad von 195° gesteckt, welches zwei Stunden lang mit einem Thermostaten auf dieser Temperatur gehalten wurde. Die Präparate wurden erst dann herausgenommen, wenn das Paraffin erstarrt war. Hier muss ich bemerken, dass ein langsames Abkühlen nothwendig zu sein scheint, denn als einmal die Präparate aus dem heissen Paraffin herausgenommen wurden, zeigten sie alle eine viel geringere Empfindlichkeit, als die anderen. Durch nochmaliges Eintauchen in Paraffin von 195° und langsames Abkühlen wurden sie bedeutend empfindlicher. Alle Präparate, bei welchen das Selen zwischen den zwei Platinspiegeln geschmolzen worden war, und welche auf die eben beschriebene Weise im Paraffinbad krystallinisch gemacht wurden, zeigten eine viel stärkere electromotorische Kraft und einen geringeren Widerstand als die früheren; ferner hatten sie ganz übereinstimmende Eigenschaften gegen

1) Bell, Ann. de chim. et de phys. (5) 31. p. 399. 1880.

das Licht, sodass diese Methode als eine vollständig sichere zu bezeichnen ist. Ich erhitze auch einige Präparate in einem Paraffinbad von 100° , um die Siemens'sche „krystallinische“ Modification zu untersuchen. Dieselben zeigten sämmtlich weder eine Spur von electromotorischer Kraft noch Abnahme ihres Widerstandes bei der Beleuchtung. In Bezug auf die Aenderung des Widerstandes beider Modificationen mit der Temperatur stimmten einige Beobachtungen, die ich anstellte, mit den Angaben von Siemens überein.

Die früher im Sandbade hergestellten Präparate bestehen wahrscheinlich aus Mischungen der bei 100° und der bei 200° entstehenden Modificationen, da sie langsam bis zu 200° erwärmt wurden. Diese Präparate bilden auch demgemäss eine Zwischenstufe zwischen den auf 100° erwärmten unempfindlichen und den bis 200° erwärmten sehr empfindlichen Präparaten. Die Ungleichheit der einzelnen Präparate erklärt sich durch die nicht immer gleiche Vertheilung der beiden Selenmodificationen. Bestätigt wird diese Vermuthung durch das Aussehen des Selen von verschiedenen Präparaten unter dem Mikroskop. Eine Bruchfläche oder eine durch Abschleifen mit feinstem Schmirgel hergestellte Fläche eines Selenstückes von einem unempfindlichen Präparat, das nur bis 100° erwärmt wurde, ist gleichmässig krystallinisch mit scheinbar abgerundeten Unebenheiten. Eine gleich hergestellte Fläche eines Stückes von einem empfindlichen Präparat, das auf 195° im Paraffinbad erwärmt wurde, erscheint unter dem Mikroskop viel verwachsener, schneeflockenähnlich, und zeigt dabei eine hellere, graue Färbung. Die im Sandbad krystallinisch gemachten Präparate, von denen sehr viele im Mikroskop betrachtet wurden, zeigen verschieden gestaltete Oberflächen, welche bald mehr der einen, bald mehr der anderen der oben beschriebenen Modificationen gleichkommen. In vielen derartigen Präparaten sind beide Modificationen leicht zu unterscheiden. Das Präparat, von welchem ein Stück in Fig. 1 abgebildet ist, ist an den Rändern ganz der empfindlichen helleren Modification gleich. Gegen die Mitte sind aber Stücke der anderen dunkleren Modification eingewachsen. Eine solche Stelle ist in Fig. 1 abgebildet.

IV. Versuchsanordnung.

Zur Beleuchtung der Präparate diente ein Kästchen mit einer Seitenöffnung, vor welche vom Beobachtungsplatz aus mittelst einer Schnur eine Verschlussplatte gezogen werden konnte. Die an die Platinspiegel gelötheten Messingelectroden wurden in zwei Quecksilbernäpfe im Innern des Kästchens eingesetzt. Zur Absorption der Wärmestrahlen stand vor dem Kästchen immer ein planparalleles Gefäss von 10 cm Dicke mit Alaunlösung. Wenn nur möglich, wurde zur Beleuchtung Sonnenlicht gebraucht, welches mittelst eines Helio-*staten* auf das Präparat geworfen wurde. Zwischen Alaunlösung und Präparat stand eine Linse, welche das Licht auf letzteres concentrirte. Wenn die Sonne versagte, wurde *electrisches Bogenlicht* verwendet.

Anfangs wurde zur Messung der Potentialdifferenzen ein Thomson'sches Quadrantelectrometer gebraucht; es erwies sich aber etwas zu unempfindlich, und es wurden deshalb die Messungen mit dem Lippmann'schen Capillarelectrometer ausgeführt. Gewöhnlich wurde die Quecksilberkuppe nicht mittelst der Druckvorrichtung auf den Nullpunkt zurückgebracht, sondern ihre Verschiebung direct an einer im Mikroskop befindlichen Ocularscala mit 80 Theilstrichen abgelesen. Die Empfindlichkeit der Capillaren war so gewählt, dass die Verschiebung um einen Scalenthail einer Potentialdifferenz von 0,0008 Volt entsprach. Nur später bei den sehr empfindlichen Präparaten musste ich zur Messung der grösseren Potentialdifferenz die Druckvorrichtung gebrauchen. Ein Vorzug dieser verhältnissmässig geringen Empfindlichkeit ist die momentane, präzise Einstellung und rasche, völlige Rückkehr zum Nullpunkt. Das Instrument wurde mehrere male *calibriert*.

Zur Messung des Widerstandes konnte das Präparat durch Umlegen einer Wippe als vierter Zweig in eine Wheatstone'sche Brückencombination eingeführt werden; als Vergleichswiderstand diente ein grosser Hartmann'scher Stöpselrheostat mit einem Gesamtwiderstand von 11000 Ohm. Die beiden anderen Zweige wurden gebildet durch Wider-

standsrollen von (respective) 10, 100, 1000 und 0,1, 1, 10, 100, 1000 Ohm, sodass ein beliebiges Verhältniss eingeführt werden konnte. Das Galvanometer war ein Wiedemann'sches mit 6098 Ohm Widerstand, es war stark astasirt. Zwei Leclanché-Elemente lieferten den Strom. Bei dieser Anordnung war es möglich, Widerstände von der Ordnung 10^7 noch bis auf 10 Proc. genau zu messen. Bei Präparaten, welche beleuchtet einen grossen Ausschlag am Galvanometer gaben, also einen verhältnissmässig geringen Widerstand und grosse electromotorische Erregbarkeit hatten, wurde, wenn sie beleuchtet waren, der Widerstand dadurch gemessen, dass in den Galvanometerstromkreis noch ein bekannter grösserer Widerstand eingeschaltet wurde; aus der Abnahme des Ausschlages wurde der Widerstand berechnet. Es konnte ferner der Strom zweier Leclanché-Elemente direct durch das Präparat in beliebiger Richtung hindurchgeschickt werden, um dasselbe in Bezug auf seine Polarisationsfähigkeit zu untersuchen. Ebenso konnte der Wechselstrom eines kleinen Inductors, der von vier Leclanché-Elementen erregt wurde, hindurchgeleitet werden. Schliesslich war noch die Einrichtung getroffen, dass das Präparat direct mit dem Galvanometer verbunden werden konnte, um die durch Beleuchtung auftretenden Ströme an demselben zu messen.

V. Beobachtungen.

a) Eigenschaften der Präparate.

Es wird am besten sein, mit der Besprechung der nach der endgültigen Methode hergestellten Präparate zu beginnen. Sie zeigten viel übereinstimmendere Eigenschaften, als alle früheren.

In allen diesen Präparaten ruft die Beleuchtung eine electromotorische Kraft hervor, immer in dem Sinne, dass die beleuchtete Seite negativ¹⁾ wird. Eine derart gerichtete

1) Negativ ist so zu verstehen, dass die beleuchtete Seite am Electrometer einen Ausschlag im gleichen Sinne hervorruft, wie der Zinkpol eines Daniellelementes.

Potentialdifferenz soll in Folgendem als die „normale“, die entgegengesetzte als die „anomale“ bezeichnet werden.

Im Dunkeln zeigten sämtliche Präparate keine Spur von Potentialdifferenz, was sich leicht daraus erklären lässt, dass sie ganz symmetrisch in Bezug auf ihre Electroden hergestellt worden waren. Einige waren durch einen hindurchgesandten Strom gar nicht polarisierbar, andere sehr schwach, wieder andere in erheblicherem Maasse. Bei den letzteren konnte die Lichtwirkung untersucht werden, wenn im Dunkeln ein Polarisationsausschlag vorhanden war. Hierbei zeigten dieselben folgende Eigenschaft: Wenn die Polarisation so gerichtet ist, dass durch Beleuchtung eine Zunahme des schon vorhandenen Ausschlages stattfinden würde, so tritt diese nur bis zu einer gewissen Grösse der Polarisation auf und wird desto kleiner, je näher an diese Grenze die Polarisation rückt. Ueber diese Grenze hinaus tritt keine Zunahme des Ausschlages mehr ein, sondern eine Abnahme, und diese Abnahme ist desto grösser, je grösser die Polarisation vorher war. Diese Grenze ist an den verschiedenen Präparaten verschieden weit hinausgerückt.

Bei den nach der endgültigen Methode hergestellten Präparaten war nicht nur die durch Beleuchtung erzeugte Potentialdifferenz grösser als bei den früheren, sondern ihr Widerstand war durchschnittlich geringer und nahm mehr ab durch Beleuchtung. Daher gaben sie beleuchtet in der Regel einen ziemlich grossen Ausschlag am Galvanometer. (Die früheren Präparate konnten nur am Electrometer gemessen werden.) Das Galvanometer wurde auf absolutes Maass calibriert; es gab für $2 \cdot 10^{-7}$ Ampère 45 Scalentheile Ausschlag. War der Ausschlag am Galvanometer zu gross, so wurde ein Nebenschluss eingeschaltet und der Ausschlag auf die frühere Empfindlichkeit umgerechnet. Der durch das Präparat hindurchgelassene Wechselstrom eines kleinen Inductors vergrösserte in der Regel den Widerstand und zugleich auch die Empfindlichkeit. Dies wurde hauptsächlich an den früheren, weniger empfindlichen Präparaten beobachtet, wenn dieselben mit der Zeit unempfindlicher geworden waren.

In folgenden zwei Tabellen sind die an den empfind-

licheren Präparaten gemachten Beobachtungen zusammengestellt. Die Messungen am Electrometer sind auf 0,001 Volt reducirt, die am Galvanometer in Scalentheilen angegeben. Die Widerstände bedeuten Ohm. Wo nicht anders angegeben, geschah die Beleuchtung mit Sonnenlicht. I und II bedeuten die beiden Seiten des Präparates.

Tabelle I.

Nr.	Datum	Polar.	Electrom.		Galvanom.		Widerstand	
			bel. I	bel. II	bel. I	bel. II	dunkel	beleuchtet
108	6. Juli	0	52	64	236	218	240 000	—
	8. "	—	100	82	221	270	—	—
	9. "	—	—	—	122	179	—	—
	11. "	—	—	—	122 ¹⁾	213 ²⁾	—	—
	11. "	—	100	100	—	—	—	—
	13. "	schwach	82	82	—	—	20 000	—
	14. "	stark ³⁾	76	82	120	216	15 000	—
	15. "	—	84	—	230	—	—	—
	23. "	—	—	—	98 ⁴⁾	185 ⁴⁾	—	—
	30. "	—	—	—	74	93	—	—
110	4. Aug.	—	58	56	—	—	—	—
	6. Juli	—	37	24	38	18	900 000	I 300 000
	8. "	—	50	50	—	—	—	—
	14. "	0	37	30	18	6	1,4 Mill.	II 0,5 Mill.
	17. "	0	58	52	66	63	—	—
	30. "	—	—	—	12	10	—	—
113 ⁵⁾	4. Aug.	—	26	27	—	—	—	—
	8. Juli	—	9	3	—	—	—	—
	12. "	—	16	15	—	—	100 Mill.	—
	17. "	sehr schwach	21	21	—	—	—	—
115	4. Aug.	—	1,6	6	—	—	—	—
	9. Juli	—	26	88	79	314	—	—
	12. "	stark kurz	30	68	56	119	45 000	—
	13. "	—	24 ⁴⁾	69 ⁴⁾	—	—	—	—
	17. "	schwach	25 ⁴⁾	52 ⁴⁾	57 ⁴⁾	112 ⁴⁾	—	—
116	4. Aug.	—	2,3	22	—	—	—	—
	14. Juli	schwach	19	6	75	34	40 000	I 20 000
	17. "	—	30	6	115	24	—	—
	30. "	—	—	—	10	4	—	—
118	4. Aug.	—	14	7	—	—	—	—
	15. Juli	—	1,6	1,6	70	70	530	486
	17. "	—	4	3	147	105	—	—
	30. "	—	0,4	—	15	8	—	—
119	4. Aug.	—	2,3	3	—	—	—	—
	15. Juli	stark ⁶⁾	5	7	50	48	20 000	II 12 000
	17. "	schwach	5	25	110	217	10 000	II 6 000
	30. "	—	—	—	12	4	—	—
129	4. Aug.	—	0,4	0 ⁶⁾	—	—	—	—

Nr.	Datum	Polar.	Electrom.		Galvan.		Widerstand	
			bel. I	bel. II	bel. I	bel. II	dunkel	beleuchtet
120	20. Juli	—	—	—	1900	850	—	—
	21. "	schwach	120	82	—	—	40 000	I 16 000
	23. "	—	—	—	307 ⁷⁾	292 ⁷⁾	—	—
	30. "	—	—	23	87	47	—	—
	4. Aug.	—	35	31	—	—	—	—
121	20. Juli	—	—	—	87 ⁷⁾	218 ⁷⁾	—	—
	21. "	stark ⁸⁾ kurz	15	21	—	—	I 80 000 II 80 000	I 10 000 ⁸⁾ II 12 000
	23. "	—	—	—	137 ⁴⁾ 7)	195 ⁴⁾ 7)	—	—
	30. "	—	5	8	13	31	—	—
	4. Aug.	—	8	14	—	—	—	—
122	20. Juli	—	—	—	4000	3000	—	—
	21. "	sehr schwach	79	74	—	—	I 27 000 II 27 000	I 7 000 ⁸⁾ II 7 000
	22. "	—	—	—	1700 ⁹⁾	1700 ⁹⁾	—	—
	29. "	sehr schwach	35 48	37 41	320 630	325 490	41 000	I 20 000
	2. Aug.	—	—	—	55 ¹⁰⁾	58 ¹⁰⁾	—	—
	3. "	—	13 ¹⁰⁾	11 ¹⁰⁾	94 ¹⁰⁾	78 ¹⁰⁾	59 000	I 34 000 ¹⁰⁾ 8) II 29 000 ¹⁰⁾
123	20. Juli	—	—	—	189	279	—	—
	21. "	stark kurz	30	19	—	—	I 500 000 II 600 000	I 140 000 II 150 000
	23. "	—	—	—	168 ⁹⁾	216 ⁹⁾	—	—
	29. "	stark ⁸⁾	15	26	41	76	70 000	I 50 000
	30. "	—	16	27	42 ⁷⁾	96 ⁷⁾	—	—
	4. Aug.	—	17	29	—	—	—	—
124	20. Juli	—	—	—	204	188	—	—
	21. "	schwach	5 120 ¹¹⁾	4 88 ¹¹⁾	—	—	I 40 000 II 40 000	I 12 000 II 12 000
	23. "	—	—	—	550 ¹²⁾	410 ¹²⁾	—	—
	28. "	stark kurz ⁸⁾	—	12	112	94	I 50 000 II 30 000	I 40 000 II 30 000
	30. "	—	—	—	66	54	—	—
	4. Aug.	—	41	34	—	—	—	—
125	20. Juli	—	—	—	1380	860	—	—
	21. "	schwach kurz	12	7	—	—	I 910 II 910	I 890 II 890
	23. "	—	—	—	700	580	—	—
	29. "	sehr schwach	2,3 0 ¹³⁾	2,3 0 ¹³⁾	—	—	910 >100 Mill. ¹³⁾	—
	30. "	—	0,4	—	0	—	—	—
	4. Aug.	—	0	—	—	—	∞	—
129	27. Juli	—	80 ⁴⁾	18 ⁴⁾	7 ⁴⁾	5 ⁴⁾	—	—
	28. "	schwach ⁸⁾	30	—	—	—	—	—
	29. "	—	16	27	2	3	10 Mill. ¹⁴⁾	7 Mill.
	4. Aug.	—	58	7	—	—	—	—

(Fortsetzung der Tabelle I.)

Nr.	Datum	Polar.	Electrom.		Galvanom.		Widerstand	
			bel. I	bel. II	bel. I	bel. II	dunkel	beleuchtet
130	27. Juli	—	100	97	2000	900	—	—
	28. "	0	105	95	—	—	I 130 000	I 17 000
	29. "	—	79	80	560	685	II 130 000	II 15 000
	30. "	—	52	64	—	—	I 130 000	I 24 000
	3. Aug.	—	60	51	167	130	—	—
							I 184 000	I 94 000
							II 67 000	II 67 000
131	27. Juli	—	2,3	2,3	66	88	—	—
	28. "	—	0,8	0,8	—	—	—	—
	28. "	—	25 ¹³⁾	32 ¹³⁾	156 ¹³⁾	174 ¹³⁾	I 29 000 ¹³⁾	I —
	28. "	—	52	50	—	—	II 29 000	II 13 000
	30. "	—	16	14	96	126	—	—

Anmerkungen zur Tabelle I.

- 1) Nach 49 Minuten Beleuchtung.
- 2) Nach 7 Minuten Beleuchtung.
- 3) Das Präparat wurde auch beleuchtet, wenn im Dunkeln ein Polarisationsausschlag vorhanden war. Das Nähere siehe Tabelle II.
- 4) Mit electrischem Licht beleuchtet.
- 5) Dieses Präparat wurde etwas anders hergestellt. Es wurde zuerst aus dem noch heißen Paraffinbad herausgenommen, rasch abgekühlt, und, als es so ganz unempfindlich wurde, wieder hineingethan und darin erkalten lassen.
- 6) Inductionsstrom hatte keine Wirkung.
- 7) Der Ausschlag nimmt bei längerer Beleuchtung etwas ab.
- 8) Beim Verdunkeln tritt erst in einigen Minuten der frühere Widerstand wieder ein.
- 9) Der Ausschlag blieb 6 Minuten, während welcher das Präparat beleuchtet wurde, ganz constant.
- 10) Mit diffusem Tageslicht beleuchtet.
- 11) Nach kurzer Polarisation.
- 12) Längere Zeit vollständig ungeschwächt.
- 13) Nach Hindurchlassen eines Inductionsstromes.
- 14) An einem der Platinspiegel ist ein Sprung.

In folgender Tabelle sind die Beobachtungen über die Lichtwirkung auf die polarisirten Präparate zusammengestellt. Die Zeichen der Potentialdifferenzen sind auf Seite I bezogen, die Potentialdifferenzen selbst sind in 0,001 Volt angegeben.

Nr.
grös-
1,4 M
dem
ande
dure
mein
zeich
para

Tabelle II.

Nr.	Pot.-Diff. im Dunkeln	B e l e u c h t e t	
		Seite	Aenderung d. Pot.-Diff.
108	+ 12	I	Abnahme 49
	- 450	"	" klein
	- 300	"	Zunahme klein
	- 210	"	" 16
	- 88	"	" 37
	+ 270	II	Abnahme 26
	+ 135	"	Zunahme 12
	+ 34	"	" 34
	+ 16	"	" 58
119	+ stark	II	Abnahme 12
	+ 70	"	Zunahme 5
	- 52	"	Abnahme 7
	- stark	I	" 7
	- 2,3	"	Zunahme 11
121	+ 120	II	Abnahme 16
	+ 43	"	" 7
	+ 7	"	Zunahme 7
	+ 2	"	" 7
123	+ 300	II	Abnahme 43
	+ 120	"	" 16
	+ 30	"	Zunahme 21
	- 76	"	Abnahme 76
	- 4	"	" 43
124	+ 2	I	Abnahme 49
	- 375	"	" 34
	- 16	"	Zunahme 21
	+ stark	II	Abnahme 16
	+ 16	"	Zunahme 12
	+ 2	"	" 27
	- stark	"	Abnahme 30
129	+ 7	I	Abnahme 26
	- 76	"	" 16
	- 43	"	Zunahme klein

Die grösste beobachtete electromotorische Kraft war bei Nr. 120 und 124. Sie betrug 0,12 Volt in Sonnenlicht. Der grösste Widerstand ist der von Nr. 110, 900 000 und später 1,4 Mill. Ohm; abgesehen von 129, welches einen Sprung an dem einen Platinspiegel hatte, und 113, welches auf etwas andere Weise hergestellt worden war. Der Widerstand wurde durch Beleuchtung bis zu neunmal kleiner, eine von keinem meiner früheren Präparate erreichte Empfindlichkeit. Ferner zeichnen sich mehrere und gerade die empfindlichsten Präparate dadurch aus, dass die durch ihre Beleuchtung hervor-

gebrachten Ausschläge nicht nur im Electrometer, sondern auch im Galvanometer längere Zeit constant bleiben. Nr. 108 z. B. wurde am Tage nach seiner Herstellung stundenlang beleuchtet. Am Vormittag blieb der Ausschlag von 222 Scalentheilen im Galvanometer $1^h 30^m$ unverändert, kleinere auftretende Störungen erwiesen sich immer als Aenderungen des Nullpunktes. Am Nachmittag desselben Tages blieb dasselbe Präparat 2^h beleuchtet, und der Ausschlag sank nur gegen das Ende dieser Zeit äusserst langsam infolge der allmählichen Abnahme der Beleuchtung. Ebenso wurden Nr. 122 und 130 längere Zeit mit diffussem Tageslicht beleuchtet und zeigten am Galvanometer ganz constante Ausschläge, an welchen die kleinste Aenderung in der Intensität der Beleuchtung sich kundgab.

Eine weitere Eigenschaft dieser Präparate ist, dass das Licht momentan eine electromotorische Kraft hervorbringt, welche bei Verdunkelung momentan ohne jede Nachwirkung wieder verschwindet. Beim Verdunkeln ging sowohl das Electrometer als auch das Galvanometer augenblicklich vollständig auf Null zurück. Nur blieb meistens eine Nachwirkung bei der Aenderung des Widerstandes; gleich nach dem Verdunkeln war der Widerstand kleiner als vor dem Beleuchten. In höchstens 1—2 Minuten erreichte er wieder die frühere Grösse.

Zur Untersuchung, ob nicht irgend ein Zusammenhang existirt zwischen dem Widerstande der Präparate und der Abnahme desselben durch Beleuchtung möge folgende kleine Tabelle dienen. Columnne 1 enthält die Widerstände der Präparate im Dunkeln, Columnne 2 die Zahl, durch welche der Widerstand im Dunkeln dividirt werden muss, um den Widerstand bei der Beleuchtung zu bekommen. (Siehe Tabelle III p. 257).

Wir sehen trotz mancher Unregelmässigkeiten ein deutliches Maximum der Empfindlichkeit (in Bezug auf den Widerstand) für mittlere Widerstände zwischen 80 000 und 130 000. Die geringste Empfindlichkeit ist sowohl für sehr kleine, als auch für sehr grosse Widerstände vorhanden.

Tabelle III.

Nr.	1	2	Nr.	2	2
118	530	1,1	130	130 000	7,7
125	910	1,1		130 000	9,0
119	10000	1,7		130 000	5,4
	20000	1,7		184 000	2,0
122	27000	4,0		184 000	2,7
131	29000	2,2	123	500 000	3,6
124	40000	3,7		600 000	4,0
116	40000	2,0	110	1,4 Mill.	3,0
120	40000	2,5	129	10 "	1,4
121	80000	6,7			
	80000	8,0			

Vergleicht man in Tabelle I ebenso die electromotorische Erregbarkeit mit der Widerstandsempfindlichkeit, so lässt sich kein Zusammenhang bemerken, übereinstimmend mit der Angabe von Fritts.

Einige Tage vor Schluss der Beobachtungen wurden die zwei empfindlichsten Präparate Nr. 122 und 130 in kleine, flache Kästchen eingesetzt, welche ein gleichzeitiges Beleuchten des Präparates von beiden Seiten gestatteten. Wie zu erwarten war, verkleinerte die Beleuchtung der einen Seite den durch Beleuchtung der anderen Seite entstandenen Ausschlag. Es liess sich z. B. sehr leicht der durch diffuses Tageslicht (abends) erzeugte Ausschlag durch Beleuchtung der anderen Seite mit einer Gaslampe aus grösserer oder kleinerer Entfernung genau compensiren, sodass das Galvanometer auf Null zeigte. Die geringste Aenderung an der einen oder anderen Beleuchtung liess sich sogleich am Galvanometer erkennen. —

Liest man die Beschreibung der Fritts'schen¹⁾ Selen-elemente, so sieht man, dass sie eine grosse Aehnlichkeit mit den meinigen besitzen. Sie geben bei der Beleuchtung einen Strom, welcher von der hinteren Messingplatte durch den Leiter zur vorderen Goldelectrode geht, mit anderen Worten, die beleuchtete Seite ist negativ, wie bei meinen Präparaten. Der Strom erscheint und verschwindet auch momentan. Leider gibt Fritts gar nichts an über die Grösse der electromotorischen Kraft und des

1) Fritts, Sill. Amer. J. (3) 26. p. 465. 1883.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXIV.

Widerstandes seiner Selenelemente, sodass sich in dieser Richtung kein directer Vergleich mit den meinigen anstellen lässt.

Der stärkste Strom, den ich mit meinen Selenelementen bekommen habe, war bei Nr. 122 am nächsten Tag nach seiner Herstellung und betrug $16 \cdot 10^{-6}$ Amp. In den darauf folgenden Tagen aber sank diese Empfindlichkeit bedeutend, und gleichzeitig wuchs der Widerstand. Diese Aenderung findet bei allen Präparaten statt. Sie werden erst nach einiger Zeit constanter, und dann ist bei den meisten Präparaten der durch Sonnenlicht erzeugte Strom, mit dem Galvanometer von 6038 Ohm verbunden, $4-8 \cdot 10^{-7}$ Amp.

Seit der Herstellung des ersten Präparates nach der endgültigen Methode und dem Schluss der Beobachtungen vergingen nur vier Wochen. Während der ersten Tage nach der Herstellung sank die Erregbarkeit ziemlich schnell und erreichte bald einen nur wenig abnehmenden Werth. Wie sich diese Präparate ferner halten werden, und hauptsächlich bei andauernder Benutzung, soll noch untersucht werden. Ich muss hier nur noch bemerken, dass die Präparate Nr. 122 und 130 von Hrn. Professor Kundt drei Wochen nach Schluss der Beobachtungen in Berlin untersucht wurden und bei diffuser Abendbeleuchtung erhebliche Ausschläge am Galvanometer hervorgebracht haben. Mitte October, also drei Monate nach ihrer Herstellung, wurden Nr. 122, 130, 131 noch einmal untersucht und gaben mit diffusem Tageslicht die zwei ersten ungefähr 40, Nr. 131 sogar 80 Scalentheile am Galvanometer.

b) Abhängigkeit von der Lichtintensität.

Erst nachdem die Methode der Herstellung dieser empfindlichen Präparate gefunden worden war, konnte daran gedacht werden, die Abhängigkeit der electromotorischen Kraft von der angewandten Lichtintensität zu untersuchen. Dazu wurden selbstverständlich die empfindlichsten Präparate benutzt. Es wurden allerdings aus Mangel an Zeit sehr wenige derartige Versuche ausgeführt.

Zuerst wurde die Lichtintensität dadurch geändert, dass

ein Argandbrenner oder die electrische Lampe in verschiedenen Entfernungen vom Präparat aufgestellt wurde, natürlich ohne dazwischen gestellte Linse. Es wurden dabei die Aenderungen der Ausschläge sowohl am Electrometer, als auch am Galvanometer beobachtet. In folgender Tabelle bedeuten die Zahlen in der letzten, mit „Potenz“ bezeichneten Spalte diejenige Potenz der Lichtintensität, welcher die Wirkung proportional ist. Die erste Zahl ist die Potenz für das Intervall der grösseren Lichtintensität, die zweite für das Intervall der kleineren Intensität.

Tabelle IV.

Nr. 108.

Gaslicht ohne Alaunlösung bel. I.				Electrisches Licht ohne Alaun bel. I.			
Cap.-Electr.	Entf.	Ausschl.	Potenz	Electrom.	Entf.	Ausschl.	Potenz
I	30 cm	7	{ 0,90	III	70 cm	42	{ 0,35
	60	2			140	25,7	
	90	1			210	12	
Galvanom. II	30 cm	4,5	{ 0,79	Galvanom. IV	70 cm	35	{ 0,66
	60	1,5			140	14	
	90	0,8			210	7,7	

Nr. 115.

Gaslicht ohne Alaun bel. II.				Electrisches Licht ohne Alaun bel. II.			
Galvanom.	Entf.	Ausschl.	Potenz	Electrom.	Entf.	Ausschl.	Potenz
V	50 cm	10,5	{ 1,00	VI	70 cm	13	{ 0,17
	100	2,6			140	10,3	
	150	1,2			210	5,7	
Galvanom. VII	70 cm	10	{ 0,47	Galvanom. VII	70 cm	10	{ 0,47
	140	5,2			140	5,2	
	210	3,5			210	3,5	

Nr. 120.

Gaslicht ohne Alaun. Galvanometer.				Gaslicht mit Alaun. Galvanometer.			
	Entf.	Ausschl.	Potenz		Entf.	Ausschl.	Potenz
bel. I VIII	20 cm	187	{ 0,75	bel. II. XI	40 cm	9,2	{ 1,01
	40	68			80	2,3	
	60	38			120	1,0	
bel. I IX	40 cm	40,8	{ 0,77	bel. I XII	40 cm	33	{ 0,94
	80	14,0			80	9	
	120	7,3			120	4	
bel. I X	40 cm	89,0	{ 0,85	bel. I XIII	40 cm	47,5	{ 0,91
	80	27,3			80	13,5	
	120	11,2			120	5,5	

Nr. 122. Gaslicht ohne Alaun. Galvanometer.

Erste Ausschläge beob.		Entfernung	Ausschlag	Potenz
bel. I	XIV	20	46,5	0,95
		40	12,5	
		60	5,5	1,01
bel. II	XV	20	28,3	0,99
		40	7,2	
		60	3,0	1,08

Ausserdem wurde die Lichtintensität noch auf eine andere Weise geändert. Ein vom Heliostat kommendes Strahlenbündel wurde durch 2 Nicols, welche dicht vor dem Selen-element standen, hindurchgeschickt; das eine Nicol wurde gedreht und die Ausschläge für die Einstellungen 90° , 60° und 0° beobachtet. Diese entsprechen respective den Intensitäten 0, 1 und 4; vor den Nicols stand das Alaungefäss.

In folgender Tabelle sind die Ausschläge für die Einstellungen 60° und 0° und entsprechend 120° und 180° zusammengestellt, nach Abzug der bei Einstellung 90° (Intensität 0) entstandenen Ausschläge.

Tabelle V.

Nr. 130	Einstell. d. Nicol	Ausschl.	Potenz	Ausschl.	Potenz	Ausschl.	Potenz
Galvano- meter	60°	39,5	0,57	27,0	0,62	38,3	0,57
	0°	87,5		63,5		84,0	
	120°	45,0	0,46	30,2	0,49	—	—
	180°	85,0		59,6		—	
Electro- meter	60°	6,0	0,61	6,0	0,56	6,0	0,66
	0°	14,0		13,0		15,0	
	120°	11,0	0,59	10,5	0,63	8,0	0,70
	180°	25,0		25,0		21,0	

Betrachten wir zunächst die mit Beleuchtung aus verschiedenen Entfernungen gemachten Beobachtungen, so sehen wir, dass die Versuche V, XI, XII, XIII, XIV, XV für die Potenz Werthe liefern, welche sehr nahe der Einheit liegen. Also änderte sich bei diesen Versuchen die Wirkung proportional der Intensität der Beleuchtung. Sehen wir jetzt nach, wodurch sich diese Versuche von den anderen unterscheiden, so bemerken wir, dass sie alle mit Gaslicht ausge-

führt wurden, und bei ihnen die Erhöhung der Temperatur mehr ausgeschlossen, und auch die angewandte Lichtintensität kleiner war als bei den anderen Messungen. Denn XI, XII, XIII wurden mit Benutzung der Alaunlösung gemacht, bei XIV und XV wurden nur die ersten Ausschläge beobachtet, und bei V war die kleinste Entfernung grösser als sonst. Nach diesen kommen mit etwas kleinerer Potenz die Versuche mit Gaslicht ohne Alaunlösung I, II, VIII, IX, X, und zuletzt die mit dem electrischen Licht gemachten Versuche mit bedeutend kleinerer Potenz (ungefähr 0,5, d. h. der Quadratwurzel, einmal sogar 0,17, beinahe der sechsten Wurzel aus der Lichtstärke proportional). Wir müssen also diese langsamere Zunahme bei den zuletzt erwähnten Versuchen sowohl der stärkeren Beleuchtung, als auch der Wärmewirkung zuschreiben.

Das erstere bestätigt die theoretischen Betrachtungen von Hesehus¹⁾, nach welchen für stärkere Beleuchtung die Zunahme der Leitungsfähigkeit kleiner ist als für schwächere Beleuchtung. Dass aber die Wärmewirkung der Lichtwirkung entgegengesetzt ist, geht ganz deutlich hervor aus der Beobachtung am Präparat Nr. 120. Die Hälfte der Messungen wurde unter sonst gleichen Bedingungen ohne Alaunlösung, die andere Hälfte mit derselben gemacht, und deutlich zeigt sich die langsamere Zunahme bei der ersten Hälfte, wo die Wärmestrahlen nicht absorbirt wurden.

Von den angeführten Beobachtungen wurden die meisten am Galvanometer, einige am Electrometer gemacht.

Vergleichen wir nun die bei Benutzung von electrischem Licht ohne Alaunlösung gemachten electrometrischen Messungen III und VI mit den entsprechenden galvanometrischen IV und VII, so sehen wir, dass bei den ersteren die Potenzen für stärkere Beleuchtung bedeutend kleiner sind, als diejenigen für schwächere Beleuchtung. Bei den galvanometrischen Messungen dagegen zeigen die Potenzen einen viel geringeren Unterschied und fallen ihrer Grösse nach

1) Hesehus, Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. 15. p. 201. 1884; Carl's Rep. 20. p. 630. 1884.

zwischen jene zwei. Die am Galvanometer gemessenen Ausschläge unterscheiden sich von denen am Electrometer gemessenen dadurch, dass sie nicht nur durch die electromotorische Kraft, sondern auch zugleich durch den Widerstand des Präparates bedingt werden, und so können wir folgenden schliessen:

Für starke Beleuchtung (Wärme nicht ausgeschlossen) ist die infolge der wachsenden Lichtintensität entstehende Zunahme der electromotorischen Kraft kleiner als die der Leitungsfähigkeit, für schwächere Beleuchtung grösser; also nimmt mit wachsender Lichtintensität die Zunahme der electromotorischen Kraft viel schneller ab, als diejenige der Leitungsfähigkeit.

Die in Tabelle V zusammengestellten Versuche mit gekreuzten Nicols zeigen für die Potenz Werthe, welche nicht sehr von 0,5 verschieden sind; d. h. die Wirkung ist annähernd der Quadratwurzel aus der Lichtintensität proportional.

c. Wirkung der verschieden brechbaren Lichtstrahlen.

Zur Untersuchung der Wirkung der verschieden brechbaren Lichtstrahlen wurde anfangs das Sonnenlicht durch farbige Gläser hindurchgelassen. Es zeigte sich aber bei spectraler Untersuchung der Gläser, dass jedes von ihnen mehrere Lichtsorten hindurchliess, sodass gar kein Vergleich zwischen den Wirkungen möglich war. Sonnenlicht, welches durch eine Lösung von schwefelsaurem Chinin gegangen war, also beinahe keine ultravioletten Strahlen mehr enthielt, übte fast die gleiche Wirkung aus, wie gewöhnliches Sonnenlicht. Das Electrometer gab z. B. ohne Chininlösung bei zwei Präparaten 70 und 12 Scalentheile, und mit Chininlösung resp. 67 und 8,5. Daraus ist zu schliessen, dass die ultravioletten Strahlen, wenn überhaupt, so doch nur eine äusserst geringe Wirkung auf die Selenelemente ausüben.

Nun wurden einige Versuche an zwei Präparaten mit den verschiedenen Theilen des Spectrums des electrischen Bogenlichtes gemacht. Dabei wurde dasselbe theils mit einem Prisma, theils mit einem Diffractionsgitter hergestellt. Zu

diesen Messungen wurde auf den Präparatkasten vor die Öffnung ein Cartonschirm mit einem 1 cm breiten Schlitz aufgeklebt. Auf diesen Schirm wurde ein möglichst lichtstarkes und reines Spectrum von ca. 15 cm Länge entworfen. Der Kasten konnte dem Spectrum entlang verschoben werden, sodass durch den Schlitz ein immer gleich breiter Streifen von einem beliebigen Theile des Spectrums auf das Präparat fiel. Da der Schirm am Kasten befestigt war, so fiel das Licht immer auf dieselbe Stelle des Präparates. In folgender Tabelle sind die Resultate zusammengestellt.

Tabelle VI.

	Prisma			Nr. 120. Gitter							
	Nr. 120		Nr. 122	Electrometer				Galvanom.			
	Elect.	Galv.	Galv.	IV	V	VI	VII	VIII			
	I	II	III								
Ultraroth	0,5	2,9	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—
Ultraroth-Roth	1	8,5	1,7	—	—	—	3,2	—	—	—	—
Roth	5	27	16,2	2	4,5	—	5,6	4,0	—	—	—
Roth-Orange	9	38,2	—	3,2	6,5	3,5	11,8	7,1	—	—	—
Orange	13	38	—	—	7	—	—	—	—	—	—
Orange-Gelb	14	46	34,7	—	—	—	13,9	8,5	—	—	—
Gelb-Grün	11,5	37	30,5	4	6	4,5	15,6	12	—	—	—
Grün	—	—	20,7	4	—	—	16	7,2	—	—	—
Grün-Blau	11	35,2	9,7	3,5	6	4	15,8	6,4	—	—	—
Blau	8	29	4,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Dunkelblau	7	26,9	—	—	—	—	—	6,3	—	—	—
Dunkelblau-Violett . .	6	19,1	—	—	4	—	—	—	—	—	—
Violett	3,5	14,1	2,1	—	4	—	—	4,4	—	—	—
Violett-Ultraviolett . .	1,5	8,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Ultraviolett	1	3,8	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Ultraviol. noch weiter	1	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Wir sehen, dass das Maximum der Wirkung beim Prismenspectrum auf orangegelb, beim normalen auf gelbgrün bis grün fällt. Nach den Messungen von Langley¹⁾ fällt das Maximum der Energie im Prismenspectrum ins Ultraroth, im normalen Spectrum auf das Gelbe in die Nähe der Linie D. Es ist also keine Abhängigkeit vorhanden zwischen der Energievertheilung im Spectrum und der Wirkung auf die Selenpräparate. Vielmehr ist die Wirkung offenbar abhängig von der Wellenlänge des benutzten Lichtes.

1) Langley, Ann. d. chim. et d. phys. (5) 25. p. 211. 1883.

Für Electrometer- und Galvanometermessungen sind die Maxima wenigstens bei Anwendung des Prismenspectrums dieselben, und die in gleichem Maassstabe gezeichneten Curven sind beinahe identisch. Daraus kann man schliessen, dass die verschiedenen Theile des Spectrums im gleichen Verhältniss auf die Entstehung der electromorischen Kraft und auf die Abnahme des Widerstandes wirken.

d. Beobachtungen an den früheren, im Sandbade krystallinisch gemachten Präparaten.

Sehr viele Beobachtungen wurden mit denjenigen Präparaten ausgeführt, welche hergestellt wurden, ehe die endgültige Methode gefunden war. Es wurden 44 solche Präparate untersucht. Sie bestanden aus einem entweder auf Messingblech oder Glas geschmolzenen und im Sandbade krystallinisch gemachten Selenscheibchen, welches mit einer Klemme zwischen zwei Platingläsern gehalten wurde. Bei einigen bestand nur die eine Electrode aus Platinglas, die andere bildete das Messingblech, auf dem das Selen geschmolzen worden war. Sie konnten daher nur von einer Seite beleuchtet werden. — Solche Präparate mit einer Messing- und einer Platinelectrode zeigten gewöhnlich nach ihrer Herstellung eine Potentialdifferenz Pt. pos. Die anderen, welche zwei Platinelectroden hatten, zeigten gewöhnlich gar keine oder eine nur sehr schwache Potentialdifferenz im Dunkeln. Diese Präparate hatten meistens einen sehr grossen Widerstand infolge des mangelhaften Contactes zwischen Selen und Pt-Spiegel. Gewöhnlich war er zwischen 1 Mill. und 30 Mill. Ohm. Infolge davon war es unmöglich, das Galvanometer zu benutzen.

Die Mehrzahl dieser Präparate zeigte eine gleichartige Erregbarkeit, wie die zuerst beschriebenen, nur durchschnittlich in geringerem Maasse. Die beleuchtete Seite wurde in der Regel negativ. Die meisten waren polarisierbar, und viele von ihnen zeigten, wenn sie im polarisirten Zustande beleuchtet wurden, dieselben Erscheinungen, wie die schon besprochenen, nämlich bei genügend grossem Polarisationsausschlag bewirkte das Licht, auf welche Seite es auch fiel, immer

eine Abnahme des Ausschlages. Diese Grenze der Polarisation war viel weniger weit hinausgerückt, als bei den empfindlicheren Präparaten.

Vier Präparate, deren Selenscheibchen auf Messing geschmolzen worden waren, zeigten folgende Eigenthümlichkeit. Die Richtung der Beleuchtung ändert die Richtung des Stromes nicht. Also wird die eine Seite bei der Beleuchtung negativ, wie sie sein soll, die andere aber, wenn sie beleuchtet wird, positiv. Immer ist aber die Potentialdifferenz grösser, wenn die normale Seite dem Lichte ausgesetzt ist, d. h. diejenige Seite, welche negativ wird. Als Beispiel mögen folgende Zahlen dienen. Sie bedeuten 0,001 Volt.

Beleuchtet	Seite I.	Beleuchtet	Seite II.
I pos.	0,8	I pos.	5
"	0,4	"	4
"	1,6	"	23
"	5,0	"	34

bei einem anderen Präparat:

Beleuchtet	Seite I.	Beleuchtet	Seite II.
I neg.	22	I neg.	4.

In einem Präparat wurde zum Selen ca. 5 Proc. Schwefel hinzugesetzt; es zeigte ganz normale Empfindlichkeit; ein Zeichen, dass innerhalb dieser Grenzen solche Beimengungen ohne Einfluss sind.

Mit der Zeit nehmen der Widerstand und zugleich die Empfindlichkeit bei vielen Präparaten stark ab. Der Wechselstrom eines kleinen Inductors vergrösserte in der Regel beide. Viele Präparate, welche mit der Zeit ihre ganze Empfindlichkeit verloren hatten, und solche, welche nach ihrer Herstellung gar keine zeigten, gelang es, mittelst des Inductionsstromes auf längere oder kürzere Zeit empfindlich zu machen. Zwei Präparate, welche ganz variable Eigenschaften gezeigt hatten, bald normal und bald anomal gewesen waren und dann jede Empfindlichkeit verloren hatten, wurden durch den Inductionsstrom auf längere Zeit ganz normal empfindlich gemacht. Als Beispiel mögen folgende an Präparat Nr. 75 gemachten Beobachtungen angeführt werden. Das Präparat zeigte während der fünf ersten Tage eine

normale Erregbarkeit bis zu 0,06 Volt. Dann wurde dieselbe sehr variabel, sodass gar keine Gesetzmässigkeit aufgefunden werden konnte. Nicht nur die Grösse, sondern auch der Sinn der durch Beleuchtung entstandenen Ausschläge änderte sich während der kurzen Dauer einer Versuchsreihe. Der Widerstand war dabei im Dunkeln 390000 Ohm. Aber schon nach acht Tagen verursachte die Beleuchtung gar keine Potentialdifferenz mehr, das Präparat war unempfindlich geworden. Der hindurchgelassene Inductionsstrom machte es wieder empfindlich, und zwar normal bis 0,088 Volt. Der Widerstand wurde ca. 5 Mill. Ohm. Nach 14 Tagen abermalige Unempfindlichkeit und Wiederherstellung durch den Inductionsstrom normal bis 0,048 Volt. Widerstand vor dem Inductionsstrom 4600 Ohm, nachher 4 Mill. und nach längerem Hindurchschicken desselben 8 Mill. Nach fünf Wochen wieder untersucht, wieder unempfindlich. Wiederherstellung durch den Inductionsstrom bis 0,034 Volt.

VI. Zusammenfassung der erhaltenen Resultate.

1) Das Licht ruft in den von mir hergestellten Selenpräparaten eine electromotorische Kraft hervor, wobei die beleuchtete Seite den negativen Pol des Elementes bildet. Im Dunkeln verschwindet diese electromotorische Kraft vollständig.

2) Bei einigen Präparaten ist, welche Seite auch beleuchtet wird, immer dieselbe Seite negativ und die andere positiv; dabei ist immer die Potentialdifferenz grösser, wenn die Beleuchtung normal wirkt, d. h. wenn die negativ erregbare Seite beleuchtet wird.

3) Werden die beiden Pole des Selenpräparates durch einen metallischen Leiter verbunden, so fliesst durch denselben ein Strom vom dunkeln Pole zum beleuchteten stundenlang in unveränderlicher Stärke.

4) Durch gleichzeitige Beleuchtung der anderen Seite des Präparates kann die electromotorische Kraft geschwächt oder durch passende Regulirung ganz compensirt werden.

5) Die Lichtwirkung ist momentan; beim Verdunkeln verschwindet der Strom sogleich ohne Rückstand vollständig.

6) Viele Präparate sind polarisierbar. Dies ist aber durchaus nicht Bedingung für die Erregbarkeit derselben, denn viele von den am meisten erregbaren Präparaten sind gar nicht oder nur schwach polarisierbar.

7) Ist schon im Dunkeln eine durch Polarisation entstandene, genügend grosse electromotorische Kraft vorhanden, so bewirkt die Beleuchtung, auf welche Seite sie auch fällt, immer eine Verkleinerung derselben. Ist dagegen die vorhandene Polarisation geringer, so wirkt die Beleuchtung ganz normal, wie in 1) angegeben. Diese Grenze ist bei den verschiedenen Präparaten sehr verschieden.

8) Gewöhnlich nimmt mit der Zeit der Widerstand der Präparate ab und zugleich auch ihre electromotorische Erregbarkeit.

9) Wechselströme eines kleinen Inductors vergrössern gewöhnlich den Widerstand bedeutend und zugleich die Erregbarkeit. Mit der Zeit ganz unempfindlich gewordene Präparate können auf diese Weise auf längere oder kürzere Zeit wieder erregbar gemacht werden. Manchmal macht der Inductionsstrom die anomalen Präparate normal.

10) Für schwache Beleuchtung und zugleich bei möglichstem Ausschluss von Wärme wächst der Strom proportional der Lichtintensität, für stärkere Beleuchtung (Wärme nicht ausgeschlossen) bedeutend langsamer. Für letztere scheint die electromotorische Kraft langsamer zu wachsen als die Leitungsfähigkeit.

11) Im Brechungsspectrum üben die orangegelben Strahlen das Maximum der Wirkung aus, im Beugungsspectrum die gelbgrünen.

VII. Theoretischer Theil.

Zur Erklärung der Widerstandsänderung des Selens bei der Beleuchtung und Erwärmung machte zuerst Siemens¹⁾, gestützt auf seine eigenen Versuche, einige Hypothesen. Später stellten sowohl Hesehus, als auch Bidwell eine Theorie auf,

1) Siemens, Wied. Ann. 2. p. 542. 1877.

allerdings ganz verschiedene Wege einschlagend. Heschus¹⁾ hielt sich näher an die Siemens'schen Annahmen. Er nimmt an, die Präparate bestehen aus mehreren allotropen Modificationen des Selens, von denen die eine vom Lichte dissociirt wird. Die so entstandene niederere²⁾ Modification leitet besser als die frühere. Im Dunkeln geht diese niederere Modification in die höhere wieder zurück.

Bidwell³⁾ behauptet, dass man es nie mit chemisch reinem Selen zu thun habe; das käufliche Selen enthält immer Spuren von Metallen. Diese sowohl, wie das Metall der Electroden, verbinden sich mit dem geschmolzenen Selen und bilden Selenide. Nach Bidwell wäre es nicht unmöglich, dass die Leitungsfähigkeit des krystallinischen Selens nur von den in demselben enthaltenen Unreinheiten herrühre, und dass vollständig reines Selen auch im krystallinischen Zustande ein Nichtleiter sei. Die Selenidtheilchen, welche beim amorphen Zustande des Selens von der isolirenden Masse umgeben waren, können, wenn dasselbe krystallisirt, zusammenhängende leitende Adern zwischen den einzelnen Krystallen bilden. Angestellte Versuche zeigten, dass schon ein geringer Zusatz von Graphitpulver krystallinisch erstarrenden Schwefel leitend macht, während Schellack trotz viel grösserer Mengen Graphitpulver ein vollständiger Isolator bleibt. Ferner zeigte möglichst reines Selen, welches beim Erwärmen mit keinem Metall in Berührung kam, auch im krystallinischen Zustande einen sehr grossen specifischen Widerstand. Die Widerstandsabnahme durch Beleuchtung muss dann dadurch erklärt werden, dass das Licht die Krystallisation befördert, und damit sich mehr zusammenhängende leitende Adern bilden.

In hohem Grade unterstützt wird diese Theorie durch

1) Heschus, Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. 15. p. 146. 1884; Carl's Rep. d. Phys. 20. p. 564. 1884.

2) Entgegengesetzt der Bezeichnungsweise von Heschus wird hier, wie gebräuchlich, die durch Dissociation entstandene Modification, deren Molecüle einfacher zusammengesetzt sind, die „niederere“ genannt.

3) Bidwell, Phil. Mag. (5) 20. p. 178. 1885.

viele Versuche mit Schwefel, dem Silbersulfid beigemengt war. Als Electroden dienten Silberbleche. Solche Präparate zeigten ganz ähnliche Widerstandsänderungen wie die Selenpräparate. Ferner machte Bidwell eben solche Zellen mit verschiedenen Electroden, z. B. einer von Ag und die andere von Cu, und bekam Ströme im Dunkeln vom Ag zum Cu. Beim Beleuchten durch die durchsichtige Silberelectrode wurde der Ausschlag kleiner, um beim Verdunkeln die frühere Grösse wieder zu erreichen. Ob Präparate mit gleichen Electroden bei der Beleuchtung eine electromotorische Kraft geben, scheint nicht untersucht worden zu sein.

Ich muss aber bemerken, dass nach meinen Beobachtungen sich kein merklicher Unterschied zeigte, ob das Präparat auf Messing, auf Platin oder auf Glas geschmolzen wurde. Ferner änderten 5 Proc. Schwefel, die zu einem Präparate zugesetzt wurden, wie schon erwähnt, die Eigenschaften desselben nicht. Dies beweist, dass die Quantität der fremden Metalle innerhalb dieser Grenzen von ganz untergeordnetem Einflusse ist.

Der Umstand, dass der durch Beleuchtung entstehende Strom stundenlang ungeschwächt dauert, und ebenso das momentane Erscheinen und Verschwinden desselben ohne jede Nachwirkung, veranlasste Fritts, die Vermuthung auszusprechen, dass es sich dabei um eine directe Transformation der Lichtenergie in electrischen Strom handle. Ein Punkt in meinen Resultaten scheint mir dagegen zu sprechen, nämlich die auf einige Präparate anomale Wirkung des Lichtes (s. Zusammenfassung der Resultate Nr. 2). Bei einer directen Umsetzung von Lichtschwingungen in electrische Energie müsste ihre gegenseitige Richtung immer dieselbe sein.

Es wäre interessant, zu untersuchen, ob nicht eine messbare Zeit zur Wirkung des Lichtes nöthig ist.

Zur Erklärung meiner Resultate mache ich folgende Hypothesen:

1) Das Selen der Präparate besteht aus einem Gemisch mehrerer Selenmodificationen. Darunter sind folgende zwei:

A) „Lichtempfindliche“ Modification, welche vom Lichte auf irgend eine Weise in eine andere übergeführt wird.

B) „Electrolytische“ Theilchen, welche ebenso gut eine Lösung zweier Selenmodificationen sein können, welche durch den Strom getrennt werden, als auch einfach ein Selenid, das durch Verbindung des Selen mit den beigemengten Metallen entstanden ist.

2) Das Licht wirkt auf doppelte Weise:

a) es führt die „lichtempfindlichen“ Theilchen (A) in andere über, welche positiv¹⁾ sind gegen die ersteren;

b) es befördert die Wiedervereinigung der durch den Strom zersetzten „electrolytischen“ Theilchen (B).

Damit soll nun Folgendes erklärt werden:

1) Beleuchtung ruft eine electromotorische Kraft hervor in dem Sinne, dass die beleuchtete Seite den negativen Pol bildet. Bei einigen Präparaten ändert sich durch Umkehrung der Beleuchtung die Richtung der electromotorischen Kraft nicht; dabei ist aber die electromotorische Kraft immer grösser, wenn die beleuchtete Seite negativ, als wenn sie positiv wird.

Ein Präparat ist desto mehr durch das Licht erregbar, je mehr lichtempfindliche Theilchen vorhanden sind. Dass der Strom durch die Beleuchtung ungeschwächt fort dauert, erklärt sich dadurch, dass die durch die Ausgleichung der Potentialdifferenz zurückgebildeten lichtempfindlichen Selen-theilchen sofort wieder durch das Licht in die positive Modification übergeführt werden. Für grössere Lichtintensitäten, wenn schon beinahe alle empfindlichen Theilchen in Verwendung kommen, muss die Zunahme der electromotorischen Kraft mit wachsender Intensität langsamer sein. Nun könnte es vorkommen, wenn ein Präparat sehr dünn ist, dass die Lichtstrahlen durch das Selen hindurch auch die hinteren Schichten beleuchten. Sind die empfindlichen Theilchen gleichmässig im Präparat vertheilt, so zeigt sich die beleuchtete Seite immer negativ, da sie ja stärker beleuchtet ist, als die hintere. Sind an der einen Seite des Präparates viel mehr lichtempfindliche Theilchen vorhanden, als an der anderen, so kann es vorkommen, dass, wenn die weniger empfindliche

1) Wie Zink gegen Kupfer im Daniell'schen Elemente.

Seite beleuchtet wird, an der hinteren empfindlicheren Seite mehr Theilchen in die niederere Modification übergeführt werden, als an der vorderen, und somit die hintere Seite negativ wird. Wird jetzt die empfindlichere Seite beleuchtet, so wird sie wiederum negativ, nur in stärkerem Maasse als vorher. Dies ist in der That bei den Versuchen der Fall.

2) Einige Präparate sind polarisirbar, andere nicht. Die Erregbarkeit hängt nicht ab von der Polarisirbarkeit.

Wenn wir annehmen, dass in der Selenmasse kleine electrolytisch zersetzbare Theilchen vorhanden sein können, so können wir sie als kleine Zersetzungszellen ansehen, deren Electroden von den angrenzenden, nicht electrolytischen Theilen der Masse gebildet werden. Dann hängt die Stärke der Polarisation offenbar nicht nur von der Anzahl dieser electrolytischen Theilchen, sondern auch von der Lage derselben ab. Dieselbe muss grösser sein, wenn diese Theilchen mehr hintereinander, als wenn sie mehr nebeneinander verbunden sind. Dass die Erregbarkeit durch Beleuchtung unabhängig ist von der Polarisirbarkeit, erklärt sich dadurch, dass diese zwei Erscheinungen von verschiedenen Selenmodificationen bedingt werden, welche ganz unabhängig von einander in der Selenmasse vorhanden sein können.

3) Bei vorhandener genügend grosser Polarisationskraft entsteht durch Beleuchtung immer eine Abnahme derselben, von welcher Seite auch das Präparat beleuchtet wird.

Ein solches polarisirtes Präparat besteht also nach unserer Anschauung aus einer Selenmasse, welche eine bestimmte Anzahl von durch den vorhergegangenen Strom in seine Bestandtheile zersetzten Theilchen enthält. Das Licht befördert die Wiedervereinigung dieser Bestandtheile und verursacht infolge dessen, von welcher Seite es auch das Präparat trifft, immer eine Abnahme des Ausschlages. Die Grösse dieser Abnahme muss bis zu einer gewissen Grenze proportional sein der vorhandenen Polarisationskraft, wie es auch der Versuch zeigt. Befinden sich aber im Präparate, wie es immer der Fall ist, ausser diesen electrolytischen auch lichtempfindliche Theilchen, so führt sie ein Theil des Lichtes in die positive Modification über. Auf ein solches Präparat

wirkt also das Licht auf doppelte Weise. Es verkleinert den schon vorhandenen Ausschlag und macht zugleich die beleuchtete Seite zum negativen Pol. Die am Electrometer beobachtete Lichtwirkung ist das Resultat beider, und zwar hat man, wenn die beleuchtete Seite schon im Dunkeln positiv war, die Summe der zwei Wirkungen, wenn sie dagegen negativ war, die Differenz derselben. Im ersten Falle haben wir immer eine Abnahme des Ausschlages. Im zweiten Falle dagegen kann durch Beleuchtung eine Abnahme oder eine Zunahme des Ausschlages stattfinden, je nachdem mehr oder weniger durch den Strom zersetzte electrolytische Theilchen vorhanden sind. Die Anzahl der lichtempfindlichen Theilchen kann als constant angenommen werden, die Anzahl der zersetzten electrolytischen Theilchen aber nimmt mit der Grösse des Polarisationsausschlages zu; dieser kann als ein angenähertes Maass für die Anzahl derselben angesehen werden. Ist nun vorerst der Polarisationsausschlag $= 0$, d. h. sind keine zersetzten Theilchen vorhanden, so entsteht durch Beleuchtung eine bestimmte Potentialdifferenz (beleuchtete Seite negativ). Wird jetzt das Präparat schwach polarisirt, so treten beide Lichtwirkungen zugleich auf und wirken entgegengesetzt. Es können nun für eine bestimmte Polarisation beide entgegengesetzte Wirkungen gleich gross sein und sich aufheben. Dies ist die Grenze, für welche die Beleuchtung gar keine Aenderung des Ausschlages verursacht. Bei schwächerer Polarisation überwiegt die Wirkung des Lichtes auf die empfindlichen Selenthelichen (der Ausschlag nimmt zu), bei stärkerer diejenige auf die electrolytisch zersetzten Theilchen (der Ausschlag nimmt ab).

Diese Grenze, wo das Licht gar keine Wirkung ausübt, ist bei verschiedenen Präparaten eine sehr verschiedene; z. B. Präparat Nr. 9 war unempfindlich bei einer Polarisation von 0,004 Volt. Nr. 100 bei einer solchen von ca. 0,1 Volt und Nr. 108 erst bei einer Polarisation von 0,3 Volt. Es scheint, wie es auch zu erwarten ist, dass die Grenze desto weiter hinausgeschoben ist, je empfindlicher das Präparat ist, d. h. je mehr lichtempfindliche Theilchen es enthält.

Hesehus erklärt die Wirkung der Inductionsströme

lediglich dadurch, dass sie, wie mechanische Erschütterungen, die Rückkehr in die Gleichgewichtslage beschleunigen; diese Rückkehr verlaufe infolge der auftretenden Nachwirkung von selbst nur äusserst langsam. Ich habe eine Vergrösserung des Widerstandes und eine Wiederherstellung der früheren Empfindlichkeit bei einer sehr grossen Anzahl von Präparaten beobachtet, bei welchen, nachdem sie lange Zeit ungebraucht geblieben waren, der Widerstand sich verkleinert hatte, und die Empfindlichkeit verschwunden war. Nehmen wir nun als Grund davon ein allmähliches Uebergehen des Selens in besser leitende und weniger empfindliche Modificationen an, so müssen wir dem Inductionsstrom nothwendig die Fähigkeit zuschreiben, diese Modificationen wieder in die früheren zurückzubilden.

Phys. Institut der Univ. Strassburg, im Oct. 1887.

II. Ueber Inductionerscheinungen, hervorgerufen durch die electrischen Vorgänge in Isolatoren; von H. Hertz.

(Aus den Sitzungsber. der Berl. Acad. vom 10. Nov. 1887, mit einem Zusatze; mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

(Hierzu Taf. II Fig. 2.)

Dass die electrischen Vorgänge in den Isolatoren neben den sicher nachgewiesenen electrostatischen Wirkungen auch die entsprechenden electrodynamischen Wirkungen mit sich führen, ist eine der Grundannahmen gerade der aussichtsvollsten electrischen Theorien. Jene Annahme ist auch längst durch die Gesammtheit der electrischen Erscheinungen in hohem Grade wahrscheinlich geworden; als das sichere Ergebniss irgend welcher directen Beobachtungen aber kann sie bislang kaum bezeichnet werden. Einen Beitrag zur Ausfüllung dieser misslichen Lücke hoffe ich in Folgendem zu bieten, indem ich eine Reihe von Versuchen beschreibe, welche sich mit geringen Mitteln wiederholen lassen, welche sicher gelingen, und in welchen sich eine von Isolatoren aus-

gehende Inductionswirkung offenbart. Eine magnetische Wirkung, welche von den Vorgängen in einem Isolator herrührt, hat sich bereits in einem Versuche des Hrn. Röntgen¹⁾ gezeigt, vorausgesetzt, dass die endgültige Mittheilung über jenen Versuch die demselben zunächst gegebene Deutung bestätigt.

Zum Nachweis der Inductionswirkung dienten mir die äusserst schnellen electrischen Schwingungen, welche in ungeschlossenen metallischen Leitern durch passend angebrachte Funken erregt werden können.²⁾ Die Methode ist die folgende: Ein primärer Leiter, in welchem Schwingungen der genannten Art erregt werden, wirkt inducirend auf einen secundären Leiter ein. Die Beobachtung der inducirten Bewegung geschieht mit Hülfe einer eingeschalteten Funkenstrecke. Damit die Beobachtung recht empfindlich sei, sind beide Leiter auf gleiche Schwingungsdauer gebracht. Der secundäre Leiter wird nun dem primären möglichst genähert, jedoch in solcher Lage, dass die auf seine verschiedenen Theile wirkenden Kräfte sich aufheben, sodass er funkenfrei erscheint. Wird jetzt das Gleichgewicht durch Annäherung von Leitern gestört, so treten wieder Funken auf; das System bildet eine Art von Inductionswage. Aber diese Inductionswage hat das Eigenthümliche, dass sie auch anspricht, wenn grössere Massen von Isolatoren ihr genähert werden. Bei der Geschwindigkeit der Schwingungen sind nämlich die in den Isolatoren durch dielectrische Polarisation verschobenen Electricitätsmengen von derselben Grössenordnung, wie die in den Metallen durch Leitung in Bewegung gesetzten.

Der Apparat.

Die Fig. 2 Taf. II zeigt den Apparat, durch welchen das Princip verwirklicht wurde. Nur die wesentlichen Theile sind gezeichnet, man hat sich dieselben durch ein leichtes Holzgerüst verbunden zu denken. *AA'* ist der primäre Leiter, bestehend aus zwei quadratischen Messingplatten von 40 cm

1) W. C. Röntgen, Sitzungsber. d. Berl. Acad. 1885. p. 195, vgl. auch die neuere Arbeit, Sitzungsber. der Berl. Acad. 1884. p. 23.

2) H. Hertz, Wied. Ann. 21. p. 421. 1884 u. 34. p. 155. 1888.

Seitenlänge, welche durch einen 70 cm langen, $\frac{1}{2}$ cm starken Kupferdraht verbunden sind. In der Mitte des letzteren ist eine $\frac{3}{4}$ cm lange Funkenstrecke eingeschaltet, gut polirte Messingkugeln bilden die Pole. Führt man nun den letzteren die möglichst kräftige Entladung eines grösseren Inductoriums zu, so laden sich zunächst die Platten A und A' in entgegengesetztem Sinne und entladen sich dann im Augenblick der Entstehung des Funkens gegeneinander unter Bildung der dem Leiter AA' eigenthümlichen Oscillationen, deren Schwingungsdauer etwa auf den hundertmillionsten Theil der Secunde geschätzt werden kann. Die sogleich nachfolgende Entladung des Inductoriums ist auf die hier zu besprechenden Erscheinungen von ebenso geringem Einfluss, wie die Anwesenheit des Inductionsapparates selbst und der Zuleitungen zu ihm. Der secundäre Leiter B ist ein genauer Kreis von 35 cm Radius aus 2 mm starkem Kupferdrahte, er enthält die Funkenstrecke f , deren Länge durch eine feine Schraube zwischen einigen hundertsteln und einigen ganzen Millimetern variirt werden kann. Bei den gewählten Ausmessungen des Kreises B findet Resonanz statt zwischen ihm und dem primären Leiter, und es können bei günstiger Lage secundäre Funken von 6—7 mm Länge erhalten werden. Für unsere Versuche wird der Kreis drehbar auf einer Axe befestigt, welche durch seinen Mittelpunkt geht und senkrecht auf seiner Ebene steht; eine Drehung um diese Axe ändert also die Lage des Kreises nicht, sondern führt nur die Funkenstrecke in ihm herum. Die Drehungsaxe wird so orientirt, dass sie in die Ebene der Platten A und A' und zwar in die Mittellinie mn derselben fällt. Fügen wir noch hinzu, dass der geringste Abstand zwischen AA' und B 12 cm beträgt, so haben wir unseren Apparat vollständig beschrieben. An demselben beobachten wir nun die folgenden Erscheinungen:

Fällt die Funkenstrecke f in die horizontale Ebene von AA' , also in die Punkte a und a' , so ist sie völlig funkenfrei. Eine Drehung des Kreises um wenige Grade aus diesen Lagen in dem einen oder dem anderen Sinne lässt schon winzige Fünkchen entstehen. Diese Fünkchen wachsen an

Stärke und Länge, je mehr wir die Funkenstrecke von den Gleichgewichtslagen entfernen, und erreichen Maximallängen von etwa 3 mm, wenn f in den höchsten und den tiefsten Punkt b und b' des Kreises tritt. Die sich in dieser Weise offenbarenden Schwingungen des secundären Leiters verdanken jedesmal ihre Entstehung der oscillirenden electrischen Kraft, welche in dem f gegenüberliegenden Theile des Kreises B auftritt. Obwohl der Gestalt nach fast geschlossen, ist B doch als ein ungeschlossener Stromkreis zu betrachten; die der Funkenstrecke beiderseits benachbart liegenden Theile wirken nur als Capacitäten der Stromenden. Die wirkende Kraft setzt sich zusammen aus der electrostatischen Kraft und der ihr entgegengerichteten Kraft der Induction; die erstere als die grössere von beiden bestimmt das Vorzeichen der gesammten Kraft. Bezeichnen wir das Vorzeichen dieser Kraft und die Amplitude der erregten Schwingung als positiv, wenn f im höchsten Punkte des Kreises liegt, so haben wir relativ zu einer festen Richtung im Kreise B die Kraft und die Amplitude als negativ zu rechnen, wenn sich f im tiefsten Punkte befindet. Durch den Nullwerth in der Gleichgewichtslage geht die Amplitude von dem einen zu dem anderen Vorzeichen über.

Es erscheint nützlich für das Folgende, auch diejenigen Erscheinungen zu betrachten, welche eintreten, wenn wir den Kreis B parallel mit sich selbst, und ohne ihn aus seiner Ebene zu entfernen, ein wenig nach unten verschieben. Es zeigt sich, dass hierdurch die Funkenlänge im höchsten Punkte zunimmt, im tiefsten abnimmt, und dass die funkenfreien Punkte — die Nullpunkte, wie wir sie nennen wollen — nicht mehr in der durch die Axe gelegten Horizontalen liegen, sondern auf beiden Seiten um einen gewissen Winkel nach unten gedreht erscheinen. Durch die geringe Verschiebung hat sich die Wirksamkeit der electrostatischen Kräfte kaum geändert, wohl aber die Wirksamkeit der Kräfte der Induction. Denn die letzteren geben nunmehr, um den geschlossenen Kreis B herumintegriert ein von Null verschiedenes Integral, sie geben daher Anlass zu einer Schwingung, deren Amplitude ein von der Lage der Funkenstrecke unab-

hängiges Vorzeichen besitzt, und zwar ist dieses Vorzeichen nach unserer Rechnungsweise das positive. Denn die Richtung der Integralkraft der Induction ist entgegengesetzt der electrostatischen Kraft in der oberen Hälfte, gleich gerichtet aber in der unteren Hälfte des Kreises B , in welcher letzterer wir das Vorzeichen der electrostatischen Kraft als positiv bezeichnen. Da nun die neu hinzutretende Schwingung gegen die schon betrachtete eine Phasendifferenz nicht besitzt, so addirt sich ihre Amplitude einfach zu der jener Schwingung, und so erklären sich die Erscheinungen.

Eine vollständigere Begründung der Deutungen, welche wir hier den Erscheinungen unterlegt haben, findet man in der vorangegangenen Arbeit.

Annäherung von Leitern.

Bisher war angenommen, dass die Leiter AA' und B in einem grösseren Zimmer in möglichster Entfernung von allen störenden Gegenständen aufgestellt seien. Auch ist eine solche Aufstellung nothwendig, wenn wir wirklich Funkenlosigkeit in den Punkten a und a' erzielen wollen. Denn wir bemerken bald, dass genäherte Leiter, z. B. längere Metallstäbe, welche wir unterhalb der Vorrichtung auf die Erde legen, Funken auftreten lassen. Bei einiger Aufmerksamkeit finden wir, dass selbst der Körper des Beobachters merklichen Einfluss ausübt. Halten wir uns in der Verlängerung der Axe mn in 1—2 m Entfernung, so ist der Apparat funkenfrei; wir haben aber nur nöthig, die Funkenstrecke aus nächster Nähe zu untersuchen, um sicher jedesmal Funken vorzufinden. Aus der Nothwendigkeit, die sehr feinen Funken aus der Ferne zu betrachten, ergibt sich die weitere Nothwendigkeit, mit geschontem Auge im dunkeln Zimmer zu beobachten. Wir wollen nun einen Leiter auswählen, welcher eine nicht zu geringe Wirksamkeit besitzt, und dessen Schwingungsdauer wir als kleiner, als die unserer primären Schwingung voraussetzen dürfen. Der Leiter C unserer Zeichnung, aus Metallblech gefertigt, entspricht diesen Bedingungen. Nähern wir denselben von oben dem primären Leiter AA' , so beobachten wir das Folgende: Im höchsten Punkte b hat

die Funkenlänge abgenommen, im tiefsten Punkte b' hat sie zugenommen, die Nullpunkte erscheinen nach oben hin, d. h. gegen den genäherten Leiter gedreht, während in den früheren Nullpunkten sich nunmehr merkliche Funken vorfinden. Aus dem letzten Versuche des vorigen Abschnittes wissen wir, welche Wirkung eine Verschiebung des Leiters AA' nach oben haben würde. Qualitativ die gleiche Wirkung würde ein oberhalb AA' angebrachter zweiter, dem Strom AA' stets gleichgerichteter Strom haben. Unser Leiter C übt nun genau die entgegengesetzte Wirkung aus, und diese Wirkung erklärt sich also aus dem früheren als eine von C ausgehende Inductionswirkung, wenn wir in C einen dem Strom in AA' stets entgegengesetzten Strom annehmen dürfen. Aber diese Annahme ist sogar nothwendig, denn die vorwiegend wirkende electrostatische Kraft sucht einen solchen Strom hervorzu-bringen, und da die Eigenschwingung des Leiters schneller ist als die der Kraft, so erfolgt die Strömung mit gleicher Phase wie die erregende Kraft. Um die Richtigkeit dieser Deutungen auf die Probe zu stellen, habe ich den Versuch in der Weise erweitert, dass ich die horizontalen Platten des Leiters C in ihrer Lage belies, das verticale Blech aber entfernte und durch immer längere und dünnere Drähte ersetzte, in der Absicht, dadurch die Schwingungsdauer des Leiters C allmählich zu vergrössern. Die Folgen dieser fortschreitenden Aenderung waren diese: Zunächst rückten die Nullpunkte immer mehr nach oben, wurden aber zugleich immer verwaschener, indem in ihnen nicht mehr eine Auslöschung, sondern nur noch ein Minimum der Funkenlänge stattfand. Die Funkenlänge im höchsten Punkte war bisher weit kleiner als die im tiefsten, nach dem Verschwinden der Nullpunkte aber begann sie wieder zu wachsen. In einem gewissen Stadium waren die Funken im höchsten und tiefsten Stand wieder gleich, aber nirgends im Kreise waren Nullpunkte zu finden, sondern überall fand sehr lebhafte Funkenbildung statt. Von hier ab verminderte sich nun die Funkenlänge im tiefsten Punkte, und bald entwickelten sich in der Nähe desselben zwei zunächst nur schwach ausgesprochene Nullpunkte, welche sich allmählich verschärften und den Punk-

ten aa' näherten, aber nunmehr stets auf der dem Leiter C abgekehrten Seite des Kreises lagen. Schliesslich fielen sie in die Punkte a und a' selbst, und es war dann der gleiche Zustand eingetreten, welcher vor Annäherung des Leiters C geherrscht hatte. Dieser Verlauf entspricht demjenigen, welchen wir nach unserer Auffassung erwarten durften. Nähert sich nämlich die Schwingungsdauer des Leiters C derjenigen des Leiters AA' , so nimmt die Intensität der Strömung in C zu, zugleich aber tritt eine Phasendifferenz zwischen dieser Strömung und der sie erregenden Kraft ein. Im Stadium der Resonanz ist die Strömung in C am heftigsten, und die Phasendifferenz beträgt, wie bei jeder Resonanz einer schwach gedämpften Schwingung, nahezu eine Viertel-schwingungsdauer; es ist daher eine Interferenz zwischen den durch AA' und den durch C in B erregten Schwingungen nicht mehr möglich. Dieser Zustand entspricht offenbar dem oben besonders hervorgehobenen Stadium. Wird die Schwingungsdauer von C wesentlich grösser als die von AA' , so nimmt die Amplitude der Schwingungen von C wieder ab, ihre Phasendifferenz gegen die erregende Kraft nähert sich dabei dem Werthe einer halben Schwingungsdauer. Die Strömung in C ist nun in jedem Augenblicke gleichgerichtet mit derjenigen in AA' , eine Interferenz der durch beide Strömungen in B erregten Schwingungen ist wieder möglich, aber die Wirkung des Leiters C muss jetzt entgegengesetzt derjenigen sein, welche er im ursprünglichen Zustande hatte.

Nähert man den Leiter C dem Leiter AA' beträchtlich, so werden die Funken im Kreise B überhaupt klein. Eine solche Annäherung vergrössert die Schwingungsdauer von AA' und hebt dadurch die Resonanz zwischen AA' und B auf.

Annäherung von Nichtleitern.

Schon die roheste Schätzung lässt erkennen, dass in grösseren Massen isolirender Substanzen, welche wir dem Apparate nähern, mindestens ebenso grosse Electricitäts-mengen durch dielectricische Polarisaton verschoben werden müssen, als sich durch Leitung in den dünnen Metallstäben

bewegten, deren Annäherung sich schon deutlich in dem Apparate geltend machte. Würde sich demnach die Annäherung solcher Isolatoren ohne Einfluss auf die Vorgänge in unserem Apparate zeigen, so würde dadurch bewiesen sein, dass die durch dielectricische Polarisirung verschobene Electricität eine entsprechende electrodynamische Wirkung nicht ausübt. Sind aber die von Faraday und Maxwell ausgegangenen Anschauungen richtig, so dürfen wir einen bemerkbaren Einfluss erwarten, und zwar würden wir vermuthen müssen, dass die Annäherung eines Isolators wirkt wie die eines Leiters von sehr geringer Dauer der Eigenschwingung. Die letztere Vermuthung findet sich vollständig bestätigt durch die Versuche, welche keinen anderen Schwierigkeiten begegnen, als der Beschaffung hinreichend grosser isolirender Massen.

Die ersten Versuche stellte ich an mit einem Materiale, welches leicht zur Hand ist, mit Papier. Ich häufte aus Büchern unterhalb des Leiters AA' einen parallelepipedischen Körper von 1,5 m Länge, 0,5 m Breite und 1 m Höhe auf, bis zur Berührung mit den Platten A und A' . Es zeigte sich deutlich, dass in den vorher funkenfreien Lagen des Kreises B nunmehr Funken auftraten, und dass erst eine Drehung der Funkenstrecke f um etwa 10° gegen den Bücherhaufen hin die Funken zum Erlöschen brachte. Hierdurch ermuthigt, liess ich 800 kg unvermischten Asphalts in die Form eines Blockes von 1,4 m Länge, 0,6 m Höhe und 0,4 m Breite giessen, welchen die Figur in D darstellt. Diesem wurde unser Apparat von oben her bis zum Aufliegen der Platten auf dem Klotz genähert. Die Einwirkung war auf den ersten Blick erkennbar, und liessen sich die folgenden Einzelheiten unterscheiden:

1. Der Funke im höchsten Punkte des Kreises war jetzt bedeutend stärker als der im tiefsten, dem Asphalt zugekehrten Punkte.

2. Die Nullpunkte erschienen nach unten, d. h. gegen den Isolator hin, gedreht, und zwar beim Aufliegen der Platten um den ziemlich genau messbaren Winkel von 23° . Eine völlige Auslöschung fand übrigens auch in diesen Punkten

nicht mehr statt. In den ursprünglichen Nullpunkten zeigte sich jetzt ein lebhaftes Funkenspiel.

3. Lagen die Platten A und A' auf dem Asphaltklotz auf, so machte sich eine Aenderung der Schwingungsdauer von AA' geltend, es musste die Schwingungsdauer von B gleichfalls etwas vergrössert werden, wenn die Funken ihre maximale Länge behalten sollten.

4. Wurde der Apparat in irgend einer Richtung von dem Asphaltblock allmählich entfernt, so nahm die Wirkung des Blockes stetig ab, ohne in qualitativer Hinsicht eine Aenderung zu erfahren.

Es waren also sämtliche Wirkungen eines Leiters von kleiner Schwingungsdauer auch hier vorhanden. Die Uebereinstimmung der Wirkungsweise des Isolators mit derjenigen eines Leiters zeigte sich ferner darin, dass die eine durch die entgegengesetzte andere compensirt werden konnte. Lag nämlich unser Apparat auf dem Asphalt auf, und wurde alsdann von oben her der Leiter C genähert, so wanderten die Nullpunkte rückwärts ihrer ursprünglichen Lage zu, und sie fielen wieder in die Punkte a und a' , wenn der Leiter C bis auf etwa 11 cm dem Leiter AA' genähert war. Lag die obere Fläche des Asphaltes 5 cm unterhalb der Platten A und A' , so trat die Compensation schon bei einem Abstände von 17 cm zwischen AA' und C ein. Stets compensirte der Leiter den Isolator dann, wenn ersterer sich in etwas grösserer Entfernung als letzterer befand. In roher Weise zeigen diese Versuche, dass auch quantitativ die Wirkung des Isolators etwa diejenige war, welche erwartet werden durfte.

Der benutzte, übrigens vorzüglich isolirende Asphalt enthielt, wie schon sein hohes specifisches Gewicht vermuthen liess, sehr viel Mineralbestandtheile. In der That fanden sich in 100 Gewichtstheilen nicht weniger als 62 Theile Asche, nämlich 17 Theile Quarzsand, 40 Theile Kalkverbindungen, 5 Theile Thon- und Eisenverbindungen.¹⁾ Um den Zweifel zu beseitigen, dass die Wirkung lediglich diesen, vielleicht zum Theil leitenden Verbindungen zuzuschreiben sei, liess

1) Für die Analyse bin ich meinem Collegen, Hrn. Hofrath Engler, zu Dank verpflichtet.

ich einen zweiten, ganz gleichen Block aus dem gleichfalls vollkommen isolirenden sogenannten künstlichen Pech anfertigen, welches von Aschebestandtheilen fast frei ist. Die an diesem beobachteten Erscheinungen waren die gleichen, wie die oben beschriebenen, nur etwas schwächer, so betrug die maximale Verschiebung der Nullpunkte hier nur 19° . Leider enthält nun aber dieses künstliche Pech neben Kohlenwasserstoffen auch eine schwer zu bestimmende Menge ungebundener Kohle im Zustand der feinsten Vertheilung. Man wird dieser Kohle Leitungsvermögen nicht absprechen können, und es war also auch durch diesen Versuch der gedachte Zweifel nicht völlig behoben. Die Fortsetzung der Untersuchung mit reinen Substanzen in gleich grossem Maassstabe verbot sich durch die Kosten, welche ein solches Unternehmen verursacht haben würde. Ich liess deshalb das System der Leiter AA' und B noch einmal in genau dem halben Maassstabe der Lineardimensionen ausführen und versuchte, ob auch in diesem kleineren Modell die Erscheinungen sich noch hinreichend genau würden verfolgen lassen. Es zeigte sich, dass dies ganz wohl anging, freilich war hier für die Beobachtung der äusserst zarten Fünkchen eine gespanntere Aufmerksamkeit erforderlich. Für eine Demonstration der Erscheinung oder für quantitative Versuche empfiehlt sich die Beibehaltung des grösseren Maassstabes. Mit dem kleinen Apparate habe ich in allem acht Stoffe untersucht, welche ich der Reihe nach anführe:

1. Asphalt. Es wurde der beschriebene grosse Block benutzt. Lagen die Platten A und A' so auf dem Block, dass ihre Vorderkante in der vorderen Begrenzungsebene des Blockes lag, so betrug die Drehung der Nullpunkte 31° , zog man den Apparat nach vorn, bis die Mittellinie rs in die Vorderfläche des Blockes fiel, so betrug die Drehung noch 20° .

2. Pech, künstliches, aus Steinkohlen gewonnen. Es wurde ebenfalls der grosse Block benutzt. Die Drehungen in den beiden unter 1. genannten Lagen betrugen bezw. 21° und 13° .

3. Papier. Wurde der Apparat auf einen aus Papier

gebildeten Block von 70 cm Länge, 35 cm Höhe, 20 cm Breite gelegt, so erschienen die Nullpunkte um etwa 8° gegen das Papier zu gedreht.

4. Holz. Wurde ein gleicher Block aus dichtem, völlig trockenem Holze gebildet, so betrug die Drehung der Nullpunkte etwa 10° .

5. Sandstein. Einem ausgedehnten trockenen Sandsteinpfeiler des Gebäudes bis fast zur Berührung genähert, ergab der Apparat eine Drehung der Nullpunkte gegen den Sandstein hin von etwa 20° . Schon an dem grossen Apparate hatte ich bemerkt, dass ein Einfluss des steinernen Fussbodens sich geltend machte, sobald der Apparat demselben auf $\frac{1}{2}$ m genähert wurde.

6. Schwefel. Aus Stangenschwefel wurde in einer Holzform ein massiver Block von 70 cm Länge, 20 cm Breite, 35 cm Höhe gegossen und die Form entfernt. Die Wirkung des Blockes war sehr deutlich, die oben beschriebenen Einzelheiten waren verfolgbar, die Drehung betrug $13-14^\circ$.

7. Paraffin. Das Paraffin war weiss, bei $60-70^\circ$ schmelzend ergab es eine wasserklare Flüssigkeit ohne alle Unreinigkeiten. Es wurde in eine Form aus Pappe von den mehrfach genannten Dimensionen gegossen und die Form entfernt. Die Wirkung war sehr deutlich, die Drehung betrug 7° .

8. Petroleum. Um auch einen flüssigen Isolator zu untersuchen, füllte ich 45 l reinen Petroleums in einen dichten Kasten aus Eichenholz von 70 cm lichter Länge, 20 cm Breite, 35 cm Tiefe. Der gefüllte Kasten bewirkte eine Drehung von etwa 7° . Der leere Kasten bewirkte eine solche von etwa 2° . Der sehr merkbare Unterschied entspricht etwa der Wirkung, welche das Petroleum allein gehabt haben würde.

Der übereinstimmende Verlauf der Beobachtungen an so verschiedenen, zum Theil reinen Stoffen, wird kaum einen Zweifel an der Realität der Wirkung oder daran aufkommen lassen, dass dieselbe den Stoffen, nicht den Verunreinigungen zuzuschreiben sei. Auch sehe ich nur zwei Einwände, welche man hinsichtlich der Deutung der Erscheinungen machen

könnte, und welche es vortheilhaft ist von vorn herein zu widerlegen. Erstens könnte man behaupten, die Wirkung sei keine electrodynamische, sondern der Isolator verändere in seiner Nähe die Vertheilung der electrostatischen Kraft, und diese geänderte Vertheilung habe die geänderte Erscheinung zur Folge. Ich habe vergeblich versucht, auf Grund dieser Annahme die Einzelheiten der Erscheinungen zu deuten. Aber es lässt sich jene Behauptung auch direct widerlegen. Erfüllt nämlich der Isolator einen Raum, welcher nur durch Kraftlinien und durch Theile der Oberflächen von A und A' begrenzt ist, so gibt er nicht zu einer Aenderung der electrostatischen Kräfte ausserhalb seiner Masse Anlass. Nun ist die durch die Mittellinie rs gelegte senkrechte Ebene sicherlich von Kraftlinien gebildet, und ebenso ist es die horizontale Ebene der Platten A und A' selber. Ist also der Isolator begrenzt durch diese beiden Ebenen, und erstreckt er sich hinter der ersteren und unter der letzteren so weit, als er überhaupt noch Einfluss hat, so ist jeder electrostatische Einfluss auf den äusseren Raum vermieden. Legten wir nun den kleineren unserer Apparate mit der Linie rs auf die obere Vorderkante eines der grossen Blöcke, so war der angegebenen Bedingung in hinreichender Weise genügt. Gleichwohl verschwand die Wirkung, wie oben bemerkt, nicht, sondern war von ähnlicher Stärke, wie unter den günstigsten Umständen. Diese Wirkung rührte also nicht von electrostatischen Kräften her.

Zweitens kann man einwenden, die Wirkungen seien vielleicht Strömungen zuzuschreiben, welche einem Reste von Leitungsvermögen ihr Dasein verdanken. Dieser Einwand wird kaum auf Beifall rechnen dürfen, wenn er hinsichtlich der vorzüglichen Isolatoren Schwefel und Paraffin vorgebracht wird. Aber ich glaube, dass er selbst hinsichtlich der weniger guten Isolatoren, wie Holz, nicht am Orte ist. Gesetzt auch, ein solcher Stoff isolire so mangelhaft, dass er der geladenen Platte A gestatte, sich in dem zehntausendsten Theile der Secunde, aber nicht viel schneller, zu entladen, so würde doch während einer Schwingung unseres Apparates die Platte immer nur den zehntausendsten Theil ihrer La-

nung verlieren. Der eigentliche Leitungsstrom in dem untersuchten Stoffe würde also immer nur den zehntausendsten Theil des primären Stromes in AA' ausmachen, und er würde also noch völlig unwirksam sein. Wenigstens für die besseren Isolatoren ist demnach jede Mitwirkung der Leitung ausgeschlossen.

Für die quantitativen Verhältnisse der Versuche erscheint es nicht möglich, schon jetzt eine entsprechende Deutung zu geben.

Wir haben oben gesehen, welchen Einfluss ein dem primären Leiter AA' genäherter metallischer Leiter C auf den secundären Kreis B hat. War C in Resonanz mit AA' , so war seine Einwirkung auf C nicht interferenzfähig mit der directen Wirkung von AA' . Gleichzeitig aber war diese Einwirkung im Zustande der Resonanz ziemlich kräftig, sodass dieselbe noch wahrgenommen werden konnte, wenn auch C um 1—1,5 m von AA' entfernt wurde. Hierauf gründete ich Versuche, welche eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der electricischen Kräfte nachweisen sollten. Brauchen nämlich diese Kräfte Zeit, um zunächst von AA' nach C und von da zurück nach B zu gelangen, so wird die Phasendifferenz zwischen den Wirkungen von AA' auf B und von C auf B zunehmen mit wachsender Entfernung zwischen AA' und C , und beide Wirkungen müssen wieder interferenzfähig werden, wenn die Entfernung zwischen AA' und C so gross wird, dass sie von der electricischen Kraft in dem vierten Theile der halben Schwingungsdauer durchlaufen wird. Diese Versuche blieben jedoch ohne Erfolg, indem ich keine der Erscheinungen, welche ich erwartete, wahrzunehmen vermochte. Da es sich aber im günstigsten Falle um die Beobachtung äusserst zarter Abänderungen handelte, so glaube ich nicht, dass dies negative Resultat gegenüber den anderweitig von mir erhaltenen positiven Resultaten ins Gewicht fallen kann.

III. Ueber die Messung hoher Potentiale mit dem Quadrantelectrometer¹⁾; von A. Voller.

Der Verlauf einer Arbeit über die electromotorische Kraft der Reibung, über die ich später zu berichten mir vorbehalte, führte infolge der Uebelstände, mit welchen die Verwendung der bisher bekannten Hilfsmittel zur Messung hoher Potentiale (Thomson's absolutes Electrometer, dasjenige von Quincke, von Bichat und Blondlot etc.) für diesen besonderen Zweck verknüpft war, zur Construction eines neuen, sehr bequemen und eine grosse Genauigkeit gewährenden Instrumentes. Es ist dies ein Quadrantelectrometer, dessen Nadel dem Einflusse eines kräftigen magnetischen Feldes von veränderlicher Intensität unterliegt.

Die Brauchbarmachung des Quadrantelectrometers für die Messung hoher und sehr hoher electricischer Potentiale bietet eine Reihe besonderer Schwierigkeiten dar. Abgesehen von der für jedes Electrometer vorhandenen, bei hohen Spannungen aber besonders dringlichen Nothwendigkeit, die Isolation aller in Betracht kommenden Theile des Instrumentes möglichst zu sichern, sind zwei Punkte besonders ins Auge zu fassen. Es muss erstens eine Methode der Messung, resp. eine Schaltung der messenden Theile (Nadel und Quadranten) gefunden werden, welche eine einfache mathematische Beziehung zwischen dem zu messenden Potential einer Ladung und der Grösse des im Fernrohr abgelesenen Nadelausschlages abzuleiten gestattet, und es muss zweitens eine Einrichtung getroffen werden, die Grenzen der Messungen, welche das Instrument ermöglichen soll, hinreichend weit zu machen. In wie weit diese beiden Bedingungen in anderer Weise als bei einem für schwache Ladungen bestimmten Quadrantelectrometer zu erfüllen sind, und wie dieselben mit-

1) Vom Herrn Verfasser bearbeiteter Auszug aus Bd. X der „Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften“. — Festschrift zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg. Hamburg, L. Friederichsen u. Co.

einander verknüpft sind, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Die Erweiterung der Potentialgrenzen, innerhalb deren eine genaue Messung erreicht werden soll, hängt, abgesehen von den Dimensionen des Instrumentes, im wesentlichen von der Bedingung ab, dass eine die electrische Drehung der Nadel compensirende Directionskraft benutzt werde, welche bis zu beträchtlicher Grösse gesteigert werden kann, so zwar, dass die eingetretene Aenderung dieser Kraft ihrer Grösse nach in jedem Falle leicht und sicher bestimmt werden kann. Hierfür bietet sich ein bequemes Mittel dar in der Anwendung des Magnetismus als Directionskraft, resp. eines veränderlichen magnetischen Feldes, unter dessen Einwirkung die Electrometernadel ihre Drehungen auszuführen hat. Die Anwendung leichter Magnetnadeln zur Erhaltung einer constanten Directionskraft statt der Torsion ist bekanntlich mehrfach zur Anwendung gekommen, z. B. in den ursprünglichen Thomson'schen, den Edelmann'schen und anderen Quadrantelectrometern. Es ist auch bekannt, dass der gewollte Zweck hiermit streng genommen nicht erreicht wird, da die Stärke des kleinen Richtmagneten nicht constant bleibt, und die Directionskraft sich ihrer Grösse wie ihrer Richtung nach infolge der unter gewöhnlichen Verhältnissen unvermeidlichen wechselnden Einflüsse benachbarter Eisenmassen, ja selbst bei Veränderungen des Erdmagnetismus ebenfalls ändert. Diese gewöhnlich störenden Aenderungen des magnetischen Feldes, innerhalb dessen die Nadel sich bewegt, können nun aber für den vorliegenden Zweck in ausgezeichnete Weise nutzbar gemacht werden. Es kommt nur darauf an, diese Aenderungen in weitem Umfange herbeizuführen und sie in einfacher Weise zu bestimmen: das erstere kann durch Anwendung eines künstlichen magnetischen Feldes von beliebig zu verändernder Stärke, das zweite durch Beobachtung der Schwingungsdauer der magnetisch armirten Nadel geschehen.

Um die Brauchbarkeit dieser Schlussfolgerung einer vorläufigen Prüfung zu unterwerfen, bediente ich mich eines gewöhnlichen Edelmann'schen Quadrantelectrometers mit langen Quadranten und rahmenförmiger Nadel, das ich mit

einer magnetischen Armatur von folgender Beschaffenheit versah. Das Electrometer blieb in seinem Zinkring an der Wand befestigt, jedoch wurde der kleine Magnet der Nadel durch drei etwas kräftigere Magnetchen, welche mit gleicher Polrichtung an einem innerhalb der Nadel angebrachten leichten Messingstäbchen befestigt waren, ersetzt. Mit Hülfe eines unterhalb angebrachten verschiebbaren Tischchens wurde sodann eine Armatur, welche aus zwei durch einen Eisenstab verbundenen senkrechten Magnetstäben bestand, deren entgegengesetzte Pole unten an den Enden des eisernen Querstabes lagen, resp. sich oben frei gegenüberstanden, von unten her so über die Glashülle des Electrometers geschoben, dass die durch den Erdmagnetismus allein indicirte Gleichgewichtslage sich nach eingetretener Ruhe wieder herstellte. Behufs Einstellung der Armatur in die hierzu erforderliche Lage war dieselbe auf einem drehbaren Fusse angebracht, und behufs Aenderung des Abstandes der Magnetstäbe von den Magnetchen der Nadel war die Armatur vermittelt einer Messingführung in senkrechter Richtung verschiebbar und beliebig festzustellen. Versuche mit dieser Vorrichtung ergaben die vollständige Brauchbarkeit grösserer magnetischer Directionskräfte. Ehe ich jedoch einiges über diese Versuche mittheile, schicke ich das Erforderliche über die bei hohen Spannungen anwendbaren Schaltungsweisen eines Electrometers voraus.

Die Schaltung eines Quadrantelectrometers für hohe Potentiale.

Bekanntlich kann ein Quadrantelectrometer in verschiedener Weise zur Potentialmessung benutzt, resp. die Schaltung der Nadel und der Quadranten abgeändert werden. Für die Benutzung des Instrumentes zur Messung niedriger Potentiale sind die gewöhnlich gebrauchten Schaltungsweisen, besonders auch mit Rücksicht auf die Eliminirung der in dem Electrometer selbst auftretenden Contactpotentialdifferenzen kürzlich durch W. Hallwachs¹⁾ discutirt worden. Unter Benutzung seiner Bezeichnungsweise sind dies:

1) W. Hallwachs, Wied. Ann. 29. p. 1. 1886.

1) Die Quadrantschaltung: Die Nadel wird auf ein bekanntes hohes Potential geladen und das zu messende kleine Potential mit einem der beiden Quadrantenpaare verbunden, während das zweite zur Erde abgeleitet oder mit einem ebenso grossen Potential von entgegengesetztem Zeichen verbunden wird.

2) Die Nadelschaltung: Die Quadranten werden auf bekanntem, entgegengesetzt gleichem hohen Potential erhalten und die Nadel mit dem zu messenden Potential verbunden.

3) Die Doppelschaltung: Ein Quadrantenpaar und die Nadel erhalten beide das zu messende Potential, während das zweite Quadrantenpaar zur Erde abgeleitet bleibt.

Der von Hallwachs untersuchte Einfluss der in dem Instrumente selbst, sofern dasselbe nicht durchweg aus demselben Metall besteht, vorhandenen Contactpotentiale kann bei einem für hohe Potentiale bestimmten Apparate ganz ausser Acht gelassen werden, da diese Contactspannungen gegenüber den zu messenden Potentialen verschwindend klein sind. Dagegen spielen hier die vertheilenden Wirkungen der zu messenden starken Ladungen naturgemäss eine grosse Rolle. Dieselben äussern sich im allgemeinen dahin, dass der Einfluss der verschiedenen zu messenden Ladungen die Potentialhöhe der angelegten constanten Ladung in schwer übersehbarer Weise ändert, sodass die für die Quadrantschaltung und die Nadelschaltung bei kleineren zu messenden Potentialen vorhandene lineare Proportionalität derselben mit den Nadelablenkungen nicht mehr besteht.

In wie hohem Grade dies der Fall ist, zeigten eine Anzahl von Versuchen, die zum Zwecke der Prüfung dieses Verhaltens mit dem gewöhnlichen Edelmänn'schen Electrometer und der demselben beigegebenen Ladungsbatterie von Zink-Wasser-Kupfer-Elementen angestellt wurden. Erforderlichenfalls war dasselbe mit der beschriebenen provisorischen Armatur versehen.

Hinsichtlich des Details dieser Versuche verweise ich auf die erwähnte ausführlichere Arbeit und fasse daher in Folgendem nur die Resultate zusammen.

1) Nadelschaltung mit constanter Quadrantladung: Während sich bei stärkeren constanten Quadrantladungen und schwachen Nadelladungen eine befriedigende lineare Proportionalität der letzteren mit den Nadelablenkungen zeigt, ist von einer solchen bei schwachen Quadrantladungen und starken Nadelladungen keine Rede mehr; die Ablenkungen werden sehr viel grösser, als der einfachen Proportionalität entsprechen würde.

2) Quadrantschaltung mit constanter Nadelladung: Hier ist lineare Proportionalität noch weniger vorhanden, als bei der Nadelschaltung, die positive Differenz der Ablenkungen ist vielmehr relativ um so stärker, je kleiner die Nadelladungen sind; die Proportionalität nähert sich hier offenbar der quadratischen. Der Grund des stärkeren Hervortretens der vertheilenden Wirkungen der zu messenden Ladungen bei der Quadrantschaltung ist leicht zu erkennen. Wird der Nadel ein starkes Potential zugeführt (Nadelschaltung), so wirkt dasselbe vermöge der symmetrischen Stellung der Nadel zu den Quadranten auf beide Paare in gleicher Weise ein, ruft also für sich allein noch kein Drehmoment hervor. Erst mit dem Eintritte einer durch das constante Quadrantpotential erzeugten Drehung der Nadel tritt eine Differenz der Influenzwirkung auf die Quadranten ein, welche offenbar um so grösser wird, je mehr der Drehungswinkel wächst, obgleich bei den in Betracht kommenden kleinen Drehungen eine gewisse, durch die Höhe der zu messenden Ladung und die Dimensionen des Instrumentes bestimmte Grösse dieses Einflusses nicht überschritten wird. Die Wirkung muss aber um so mehr hervortreten, je kleiner das dem Quadrantenpaare von aussen zugeführte Potential ist.

Wird dagegen ein Quadrantenpaar mit einem hohen Potential geladen, während die Nadel mit einem constanten, relativ niedrigen Potential verbunden bleibt (Quadrantschaltung), so ist die Influenzwirkung des ersteren auf die Nadel von vornherein eine einseitige, muss also stark hervortreten. Wird die Nadel überhaupt gar nicht von aussen geladen, so muss die electriche Vertheilung in dem System des Electrometers sich sehr einfach gestalten. Ist in diesem Falle V das

Quadrantpotential, so wird das auf die Nadel ausgeübte Drehmoment V^2 proportional werden, da das durch Influenz in der Nadel erzeugte Potential dann stets durch $-cV$ ausgedrückt werden kann, wo c der von den Dimensionen des Instrumentes abhängige Vertheilungsfactor ist.

Dass übrigens die Influenzwirkung der Quadrantladung auf die mit einem constanten Potential verbundene Nadel sich in der Störung der linearen Proportionalität der Ablenkungen und Ladungen auch dann äussert, wenn das Nadelpotential, wie bei der gewöhnlichen Quadrantschaltung der Fall ist, eine bedeutende Grösse hat, falls die zu messenden Quadrantladungen die gewöhnlich innegehaltenen Grenzen von einem oder wenigen Volt merklich überschreiten, wurde durch besondere Versuchsreihen festgestellt.

3) Auch die Doppelschaltung ohne constantes Potential erwies sich als nicht anwendbar, da — wahrscheinlich infolge des bedeutenden Zerstreungsvermögens der mit dem zu messenden hohen Potential geladenen Nadel — es überhaupt nicht gelang, sichere Ablesungen zu erhalten; die anfangs angestrebte Ruhelage der Nadel änderte sich stetig im Sinne einer Abnahme der Ablenkungen.

Die hier erwähnten Messungen wurden an dem armirten Edelman'schen Electrometer vorgenommen, zu welchem jedoch eine besonders mit Rücksicht auf möglichst hohe Isolation construirte Zink-Wasser-Kupferbatterie von 1200 Elementen (etwa 1000 Volt electromotorische Kraft), sowie ein gut isolirender besonderer Umschalter hergestellt wurden, betreffs deren ebenfalls auf die ausführlichere Veröffentlichung verwiesen werden möge.

Die oben mitgetheilten Erwägungen hinsichtlich der störenden Einwirkung der Influenz starker Ladungen bei den bisher gebräuchlichen Schaltungsweisen eines Electrometers führen zu einer naheliegenden Schlussfolgerung. Es wird möglich sein, wenn ein Quadrant oder Quadrantenpaar mit einem hohen Potential geladen wird, auf die Ladung der Nadel mit demselben oder einem anderen Potential ganz zu verzichten, also lediglich dasjenige Drehmoment zu benutzen,

welches aus der Anziehung der Quadrantladung auf die durch Influenz in der zur Erde abgeleiteten Nadel entstandenen Ladung von entgegengesetztem Vorzeichen entsteht.

Wie schon bemerkt, wird für irgend ein Quadrantpotential V das Potential dieser durch Influenz erzeugten Ladung so lange durch $-cV$ ausgedrückt werden können, als sich der Vertheilungscoefficient c nicht merklich ändert, welche Bedingung beim Quadrantelectrometer als erfüllt angesehen werden kann. Folglich sind die durch zwei verschiedene Potentiale V und V_1 ausgeübten Drehmomente, wenn k die Constante des Instrumentes ist:

$$D = -kcV^2, \quad D_1 = -kcV_1^2,$$

mithin:

$$D:D_1 = V^2:V_1^2,$$

und ebenso:

$$s:\sigma = V^2:V_1^2;$$

wenn s und σ die zugehörigen Ablenkungen sind. Es ist also bei dieser, soweit mir bekannt, bis jetzt nicht benutzten Messmethode, die ich „Quadrantschaltung mit abgeleiteter Nadel“ nennen will, das von der Ladung ausgeübte Drehmoment, also auch die Ablenkung, ebenso wie bei der Doppelschaltung, dem Quadrate des Potentials proportional.

Zur Prüfung dieser Schlussfolgerung wurden mit dem armirten Edelmann'schen Electrometer, dessen magnetisches Feld auf verschiedene Intensitäten eingestellt wurde, eine grössere Zahl von Versuchen ausgeführt. Es wurde dabei der neue Umschalter so benutzt, dass die Electrometernadel dauernd zur Erde abgeleitet blieb, während abwechselnd das eine und das andere Quadrantenpaar mit dem durch eine bestimmte Anzahl Wasserelemente gelieferten Potential geladen, das nicht benutzte Paar aber ebenfalls zur Erde abgeleitet wurde.

Ich theile nur einige Beobachtungsreihen mit. Unter das Mittel der Ablesungen habe ich diejenigen Ablenkungen gesetzt, welche unter der Annahme einer strengen quadratischen Proportionalität hätten beobachtet werden müssen, wenn man von einem mittleren Potential als Maass ausgeht. Wegen der zugehörigen sehr kleinen Ablenkungen eignen sich die kleinsten benutzten Potentiale nicht gut zu einer solchen willkürlichen Maasseinheit.

1.

Quadranten- ladung	300		600		900		1200 El.	
Ablenkungen $\left\{ \begin{array}{l} 7,3 \\ 7,3 \\ 7,2 \end{array} \right.$ $s = \left\{ \begin{array}{l} 7,6 \\ 7,5 \end{array} \right.$	7,3	7,6	30,6	30,0	69,8	67,0	127,6	120,0
	7,3		30,4	29,6	69,2	66,4	126,4	118,6
	7,2		30,2		68,6		125,2	
Mittel	7,4		30,1		68,0		122,8	Selth.
berechnet	7,5		—		67,7		120,4	"
Differenz	-0,1		—		+0,3		+2,4	"

2.

Quadranten- ladung	240		360		480		600		720 El.	
$s = \left\{ \begin{array}{l} 6,1 \\ 6,0 \\ 6,0 \end{array} \right.$	6,1	6,0	13,6	13,3	24,4	23,4	38,1	36,9	53,3	51,7
	6,0	5,9	13,5	13,3	24,2	23,2	37,9	36,5	53,8	50,8
	6,0		13,4		24,0		37,7		53,6	
Mittel	6,0		13,4		23,8		37,3		52,4	Selth.
berechnet	5,8		13,1		23,3		36,4		—	
Differenz	+0,2		+0,3		+0,5		+0,9		—	"

Quadranten- ladung	840		960		1080		1200 El.	
$s = \left\{ \begin{array}{l} 73,8 \\ 73,3 \\ 72,7 \end{array} \right.$	73,8	70,5	95,2	90,5	121,8	115,0	149,6	141,4
	73,3	70,0	95,8	90,4	121,5	114,2	149,4	140,5
	72,7		95,4		120,8		148,9	
Mittel	71,8		93,0		118,0		145,1	Selth.
berechnet	71,3		93,2		117,9		145,6	"
Differenz	+0,5		-0,2		+0,1		-0,5	

Die Beobachtungen zeigen die vollständige Brauchbarkeit der neuen Schaltungsweise für hohe Potentiale, da die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung eine sehr befriedigende ist.

Ich gehe nunmehr zur Besprechung des zweiten, oben erwähnten Punktes über, der Erweiterung der Grenzen der nach diesem Verfahren möglichen Messungen durch Anwendung eines veränderlichen magnetischen Feldes.

Es ist zunächst daran zu erinnern, dass unter sonst gleichen Verhältnissen der durch ein bestimmtes Potential erzeugte Nadelausschlag durch die Grösse der auf die magnetisch armierte Nadel wirkenden magnetischen Directions-kraft Δ bestimmt ist. Es kann ferner diese Directionskraft,

welche dem Producte der Momente des Nadelmagnetismus und der von aussen einwirkenden magnetischen Kraft proportional ist, durch Aenderung des einen oder des anderen oder auch beider Factoren abgeändert werden, und es ist endlich bekannt, dass — sofern die Horizontalcomponente des magnetischen Feldes für alle Nadelausschläge dieselbe Grösse behält, und so lange das Trägheitsmoment der Nadel nicht geändert wird — die Gleichung besteht:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{t_1^2}{t^2},$$

wenn t und t_1 die Schwingungszeiten der Nadel innerhalb des homogenen magnetischen Feldes, welche den Directionskräften A und A_1 entsprechen, bezeichnen. Es ist also die Directionskraft unter irgend welchen Verhältnissen durch die Schwingungsdauer der Nadel bestimmt, vorausgesetzt, dass das Trägheitsmoment derselben unverändert bleibt. Letzteres ist der Fall, wenn die Nadelmagnete stets dieselben bleiben, sodass eine etwaige Aenderung der Directionskraft nur durch eine veränderte Intensität des von aussen einwirkenden Magnetismus herbeigeführt wird. Wendet man nun, statt des Erdmagnetismus, ein künstliches magnetisches Feld an, so kann man statt der Aenderung des Momentes der äusseren Magnete die Entfernung derselben von den Nadelmagneten ändern, was ja gleichbedeutend ist.

Nun wurde oben nachgewiesen, dass für die Quadrantschaltung mit abgeleiteter Nadel, so lange das magnetische Feld dieselbe Intensität behält:

$$\frac{s}{\sigma} = \frac{V^2}{V_1^2}$$

ist. Da ferner für den Fall, dass unter sonst unveränderten Verhältnissen nur diese Intensität geändert wird, die durch V_1 bewirkte Ablenkung σ in eine Ablenkung s_1 übergeht, welche durch die Gleichung:

$$\frac{s_1}{\sigma} = \frac{A}{A_1}$$

bestimmt ist, vorausgesetzt, dass die Torsion der Aufhängung der Nadel vernachlässigt werden kann, was bei starken mag-

netischen Directionskräften zulässig ist, so ergibt sich Folgendes:

Es sei den Electrometerquadranten, nachdem ein Potential V bei der Schwingungsdauer t die Ablenkung s bewirkte, ein Potential V_1 zugeführt worden, während gleichzeitig die Intensität des Magnetfeldes geändert wurde, sodass nunmehr die Schwingungsdauer t_1 besteht. Ohne die letztere Abänderung wäre die Ablenkung σ entstanden, jetzt entsteht:

$$s_1 = \sigma \frac{A}{A_1} = \sigma \frac{t_1^2}{t^2}.$$

Da nun ferner: $\sigma = s \frac{V_1^2}{V^2}$, so folgt:

$$s_1 = s \frac{V_1^2}{V^2} \cdot \frac{t_1^2}{t^2}, \quad V_1 = V \frac{t}{t_1} \sqrt{\frac{s_1}{s}},$$

wo V , t und s , resp. V_1 , t_1 , s_1 zusammengehörige Werthe des Potentials, der Schwingungsdauer und der Nadelablenkung, resp. des Scalenausschlages sind. Diese Formel gestattet, Beobachtungen, die bei der Schwingungsdauer t angestellt werden, mit solchen zu combiniren, welche bei der Schwingungsdauer t_1 stattfinden.

Die Erweiterung des Umfanges der durch das armirte Electrometer möglich gemachten Messungen mit Hülfe der Aenderung des magnetischen Feldes ist eine sehr bedeutende. Beispielsweise konnte die Schwingungsdauer der abgeänderten Nadel des Edelmann'schen Instrumentes von 0,4–5,5 Sekunden, also auf das 14-fache gesteigert werden. Durch Astasirung der Nadel kann natürlich die Schwingungsdauer noch bedeutend grösser gemacht werden (bis etwa 30"), sodass das Instrument auch den Vergleich schwacher Potentiale gestatten würde; indess treten dann die störenden magnetischen Localeinflüsse in so starker Weise hervor, dass die Arbeit unbequem und unsicher wird. Bei etwa 12" Schwingungsdauer konnte noch beobachtet werden.

Die Brauchbarkeit der entwickelten Formel wurde durch zahlreiche Beobachtungen bestätigt. Dieselben konnten unter Benutzung der Batterie von 1200 Elementen (rot. 1000 Volt) leicht in ähnlicher Weise wie die früheren derart angestellt werden, dass irgend eine beliebige Zahl der Elemente bei

irgend einer Schwingungsdauer, sowie irgend eine andere Anzahl bei einer anderen Schwingungsdauer an die Quadranten gelegt und die Ablesungen beobachtet wurden; eins der benutzten Potentiale wurde dabei als unbekannt betrachtet und nach der Formel berechnet. Es hätte sich dann die angewendete Zahl der Elemente ergeben müssen. Indess sind hierbei von vornherein kleine Abweichungen zu erwarten, da erstens die electromotorische Kraft der einzelnen Elemente nicht gerade vollkommen gleich sein wird, und diese zweitens von einer Versuchsreihe zur anderen, namentlich wegen der kaum ganz zu vermeidenden Polarisation durch theilweise Entladung bei unvollkommener Isolation, nicht ganz constant bleibt. In der That zeigen die Beobachtungen derartige Abweichungen, die unter besonders ungünstigen Umständen 2—3 Proc. betragen können, meist aber 1 Proc. nicht erreichen. Die Schwingungszeiten wurden durch einen Taschenchronographen, welcher Fünftelsekunden zu markiren gestattet, und dessen Gang zu wiederholten malen durch Vergleich mit einer Normaluhr controlirt wurde, bestimmt; je nach der Schwingungsdauer wurden zur Feststellung derselben 2—3 mal 50—200 Schwingungen benutzt; die einzelnen Messungen zeigten fast ausnahmslos eine sehr gute Uebereinstimmung.

Im Nachstehenden theile ich einige Beobachtungen mit, gebe jedoch der Kürze wegen nur das Mittel aus den in der Regel gemachten 5—7 Ablesungen, wie aus den Zeitmessungen. Als Potentialeinheit ist hier der Bequemlichkeit wegen die der electromotorischen Kraft eines Wasserelementes ($V = 0,882$ Volt) entsprechende genommen.

Prüfung der Formel $V_1 = V \frac{t}{t_1} \sqrt{\frac{s_1}{s}}$.

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} V = 150; \quad t = 5,49''; \quad s = 46,6 \text{ Scalenth.} \\ V_1 = 1200; \quad t_1 = 0,662''; \quad s_1 = 43,1 \quad ,, \\ V_1 = 150 \cdot \frac{5,49}{0,662} \sqrt{\frac{43,1}{46,6}} = 1197. \end{array} \right.$$

Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung:

$$-- 3 = - 0,25 \text{ Proc.}$$

$$(2) \begin{cases} V = 60; & t = 9,37''; & s = 20,8 \text{ Scalenth.} \\ V_1 = 1200; & t_1 = 0,685''; & s_1 = 43,8 \text{ ,,} \\ V_1 = 60 \cdot \frac{9,37}{0,685} \sqrt{\frac{43,8}{20,8}} = 1191. \end{cases}$$

Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung:
 $= -9 = -0,75 \text{ Proc.}$

Die Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung lassen bei dem Edelmann'schen Instrumente keine bestimmte Tendenz erkennen, da ihr Vorzeichen sowohl positiv wie negativ sein kann.

Die Versuche zeigen somit eine sehr befriedigende Bestätigung der Formel, wenigstens bis zu Spannungen von 1000 Volt. Eine Prüfung mit noch höheren Potentialen hätte die Herstellung weiterer Ladungsbatterien erfordert, die mir überflüssig schien, da (so lange nicht grössere Isolationsverluste eintreten) kein Grund vorhanden ist, anzunehmen, dass bei Anwendung höherer Potentiale und entsprechend grösserer magnetischer Directionskräfte die Formel einer Correction bedürfe.

Nachdem die obigen Resultate an einem Edelmann'schen Electrometer, welches in der beschriebenen Weise armirt war, erhalten worden waren, liess ich unter Benutzung der gemachten Erfahrungen ein lediglich für die beabsichtigten Messungen hoher Potentiale bestimmtes Instrument in der Werkstelle von H. Schwencke hierselbst anfertigen. Es wurde dabei beabsichtigt, erstens die Magnetarmatur in bequemer Weise mit dem Instrumente selbst zu verbinden, zweitens die magnetische Directionskraft in höherem Maasse zu steigern, als dies bei der bisherigen Einrichtung möglich war, und drittens ein möglichst grosses Isolationsvermögen des Instrumentes zu sichern. Die Beschreibung dieses Instrumentes findet sich in der ausführlicheren Arbeit, über welche diese Mittheilungen kurz berichten.

Hinsichtlich des möglichen Umfanges der an diesem Instrumente zulässigen Messungen bemerke ich, dass bei Benutzung nur eines Quadranten und bei maximaler Wir-

kung der Magnete diejenige Ladung, welche eine Ablenkung von 1 Scalentheil bei 1,5 m Abstand des Spiegels von der Scala bewirkt, etwa 650 Volts beträgt, sodass bei Benutzung einer Scala von beiderseits 250 Scalentheilen, welche, wie besondere Beobachtungen gezeigt haben, noch durchaus zulässig ist, Potentialdifferenzen bis zu 10000 Volts gemessen werden könnten. In Wirklichkeit jedoch kann das hergestellte Exemplar des Instrumentes seiner kleinen Dimensionen wegen nicht so weit benutzt werden, da die so hohen Potentiale zukommende Funkenschlagweite den Abstand der geladenen Quadranten und ihrer Zuleitungen von den übrigen zur Erde abgeleiteten Electrometertheilen übersteigt, sodass zwischen denselben Funkenentladungen auftreten. Die zulässige Potentialgrenze, innerhalb deren das angefertigte erste Instrument Messungen gestattet, beträgt aus diesem Grunde nur etwa 5000 Volts. Für die im Anfange dieser Mittheilungen besprochenen Zwecke reicht dies in manchen Fällen nicht aus, sodass die Herstellung eines für beträchtlich grössere Spannungen bestimmten Instrumentes in Angriff genommen wurde, über das ich seiner Zeit nähere Mittheilungen zu machen mir vorbehalte.

Im übrigen zeigen die an dem neuen Instrumente bereits in grosser Zahl ausgeführten Messungen die grosse Zuverlässigkeit und Genauigkeit der angewendeten Methode. Es möge noch bemerkt werden, dass dasselbe nach erfolgter Veröffentlichung noch eine wesentliche Verbesserung durch Anbringen einer Glycerindämpfung erfahren hat, welche — ohne die Möglichkeit der Feststellung der Schwingungsdauer der ungedämpft schwingenden Nadel zu beeinträchtigen — die Ausschläge derselben während der Arbeit fast völlig aperiodisch macht.

Hamburg, Phys. Staatslabor., im Februar 1883.

IV. Ueber Osmose durch Niederschlagsmembranen; von G. Tammann.

(Hierzu Taf. II Fig. 3 1—IV u. 4.)

Trennt eine Niederschlagsmembran¹⁾ eine Lösung von ihrem Lösungsmittel, und vermag der gelöste Stoff die Niederschlagsmembran nicht zu durchdringen, so möge die in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit der Membran hindurch strömende Menge des Lösungsmittels als der osmotische Coëfficient der Lösung bezeichnet werden. Falls bei der Versuchstemperatur der gelöste Stoff keine Dampfspannung besitzt, so ist für eine und dieselbe Membran der osmotische Coëfficient direct proportional den Spannkraftserniedrigungen der verschiedenen Lösungen.

Verändert man auf irgend welche Weise die Structur der trennenden Membran, so wird der osmotische Coëfficient verändert. Der osmotische Coëfficient steht in Beziehung sowohl zu der Concentration der Lösung, als auch zu den Eigenschaften der trennenden Wand.

Da die Niederschlagsmembranen ihre Eigenschaften leicht verändern, so ergibt die Bestimmung der osmotischen Coëfficienten nach der Versuchsanordnung von Pfeffer²⁾ variable Resultate. In der That konnte ich bei Benutzung jener Versuchsanordnung aus diesen und anderen Gründen die Proportionalität zwischen den Coëfficienten und den Dampfspannungserniedrigungen nicht genügend feststellen.³⁾

Aus der Proportionalität zwischen den osmotischen Coëfficienten (ω_1, ω_2) und den Spannkraftserniedrigungen ($T - T_1, T - T_2$) folgt, dass Lösungen, denen gleiche osmotische Coëfficienten zukommen, gleiche Dampfspannungen besitzen. Sind die osmotischen Coëfficienten proportional den Spannkraftserniedrigungen, so gelten die Gleichungen:

$$\omega_1 = c(T - T_1); \quad \omega_2 = c(T - T_2),$$

$$\omega_1 - \omega_2 = c(T_2 - T_1), \text{ ist } \omega_1 = \omega_2, \text{ so wird } T_1 = T_2.$$

1) M. Traube, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1867. p. 87.

2) W. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen 1877. p. 15.

3) G. Tammann, Mém. de l'Acad. de St. Pétersbourg (7) 35. Nr. 9. p. 168—172. 1887.

Während ich diesen Satz durch Experimente zu stützen suchte, hat vor kurzem van t'Hoff¹⁾ auf thermodynamischem Wege bewiesen, dass zwischen Lösungen gleicher Dampfspannungen keine Osmose eintritt.

Im Folgenden werde ich zuerst eine Methode zur Bestimmung derjenigen Lösungen, zwischen denen keine Osmose stattfindet, die wir isosmotisch nennen, beschreiben, und dann den Nachweis liefern, dass isosmotische Lösungen nicht flüchtiger Stoffe gleiche Dampfspannungen besitzen.

Schichtet man die wässerigen Lösungen zweier Membranogene so übereinander, dass die Lösung, der eine geringere Dampfspannung zukommt, die andere Lösung überlagert, so wird ein Theil des Wassers der unteren Lösung durch die scheidende Membran der oberen Lösung zugeführt. Durch diesen Wanderungsprocess werden die an der unteren Seite der Membran anliegenden Lösungsschichten concentrirt, hierdurch specifisch schwerer und sinken zu Boden. Sind die Unterschiede in den Dampfspannungen beider Lösungen bedeutend, so sieht man schon mit unbewaffnetem Auge, dass die untere Lösung von stärker lichtbrechenden, sich senkenden Streifen (Schlieren) durchzogen wird.

Gelingt es, geringe, durch den osmotischen Strom bedingte Concentrationsstörungen sichtbar zu machen, so hätte man die Lösung niederer Dampfspannung so lange zu verdünnen, bis sie der anderen Lösung weder Wasser entzieht, noch abgibt. Zu diesem Zwecke kann jeder Apparat, der zur Constatirung geringer Unterschiede in den Brechungsexponenten eines nicht homogenen Mediums dient, gebraucht werden. Töpler's²⁾ Schlierenapparat und Jamin's³⁾ Interferentialrefractor genügen beide den gestellten Bedingungen.

Mir stand durch die Güte des Hrn. Prof. Dr. Arthur v. Oettingen ein improvisirter Schlierenapparat zur Verfügung, mit dessen Hülfe ich die im Folgenden mitgetheilten Titrationen isosmotischer Lösungen ausführte.

1) J. H. van t'Hoff, Zeitschr. für phys. Chemie. 1. p. 493. 1887.

2) A. Töpler, Pogg. Ann. 131. p. 33. 1867.

3) Jamin, Compt. rend. 43. p. 1191. 1856.

Bringt man in einen planparallelen Glastrog die wässerige Lösung eines Membranogens, stellt dann den Trog zwischen die Linse und den Beleuchtungspalt des Schlierenapparates und gibt durch Parallelverschiebung des Schirmes vor dem Fernrohr dem Bilde des Troges ein gleichförmiges Halbdunkel, so beobachtet man beim Eintropfen der Lösung des anderen Membranogens folgende Bilder.

Besitzt die von der Membran eingeschlossene Lösung eine geringere Dampfspannung als die die Zelle umgebende Lösung, so geht der osmotische Strom in die Zelle. Die Aussenlösung concentrirt sich, und man sieht auf halbdunklem Grunde einen dunklen Streifen zu Boden fließen (Bild I). Der obere Rand der Zelle erscheint von einem hellen Streifen umgeben. Doch sind auch diese heller schattirten Schichten concentrirter als die halbdunkel erscheinende Lösung. Die verschiedene Schattirung der Schlierenbilder ist eine Eigenthümlichkeit der Methode von Töpler. Bricht eine Schliere das Licht stärker als die Umgebung, so erscheinen die der Bewegungsrichtung des Diaphragmas entgegengerichteter Partien ihres Bildes heller, die gleichgerichteten dunkler als die halbdunkle Umgebung.

Bringt man wiederum einen Tropfen der jetzt verdünnten Lösung in den Trog, so beobachtet man eine schwächere Ausbildung der Eigenthümlichkeiten des Bildes I und ein langsames Herabsinken der concentrirten Lösungsschichten. Bei fortgesetztem Verdünnen der Lösung erblickt man das Bild II, die stärker lichtbrechenden Schichten senken sich auch im Verlauf mehrerer Minuten nicht mehr herab.

Setzt man nun die Verdünnung der Lösung weiter fort, bildet wieder eine Zelle, so gewahrt man das Negativ des vorigen Bildes, das Bild III; die die Zelle umschliessenden Schichten sind jetzt verdünnter als ihre Umgebung. Schliesslich, verdünnt man die Lösung noch stärker, so sieht man bei der Zellbildung die dunkel erscheinenden, specifisch leichteren Streifen der verdünnten Lösung sich erheben (Bild IV).

Die isosmotische Concentration der eingetropften Lösung liegt offenbar zwischen den Concentrationen, die den Bildern II und III entsprechen.

Beim Verdünnen der einzutropfenden Lösung wurden 2 ccm derselben so lange verdünnt, bis die Umkehr in der Schattirung des Bildes II zu erwarten war. Dann fügte man bei concentrirten Lösungen 0,05 ccm, bei verdünnteren 0,1 ccm Wasser zur Lösung, bildete im Troge eine Zelle und beobachtete dieselbe. Trat der Wechsel in der Schattirung des Bildes ein, so nahm man aus den entsprechenden Concentrationen das Mittel. Demnach beträgt der Titrationsfehler für die höchsten der angegebenen isosmotischen Concentrationen 3 Proc., für die mittleren 1 Proc. ihres Werthes. Eine grössere Genauigkeit bei der Feststellung isosmotischer Concentrationen besonders concentrirter Lösungen lässt sich ohne besondere Mühe erreichen. Bei maassgebenden Bestimmungen wäre auf die Gleichheit der Temperatur zu achten. Die vorliegenden Titrationsen wurden zwischen 14—20° C. ausgeführt.

Was die Wahl der zu benutzenden Membranen betrifft, so hat man vor allem zu beachten, dass dieselben genügend dünn seien. Bringt man die Lösungen zweier Salze, die durch doppelte Wahlverwandschaft einen unlöslichen Stoff bilden, zusammen, so beobachtet man in sehr vielen Fällen die Bildung einer anfangs durchscheinenden, sich bald verdickenden Haut. In diesem Falle ist eine Membran zu den hier in Frage kommenden Versuchen nicht zu brauchen. Am besten ist es, die zu verwendende Haut und ihre Bildung mit dem Schlierenapparate zu prüfen.

Erscheint die Zelle durchscheinend, und erblickt man nach der Bildung der Zelle beim Wechsel der beiden Lösungen einmal das Bild I, das andere mal das Bild IV, so ist die Membran zu vorliegenden Versuchen zu brauchen.

Bringt man die Lösung eines Chlorides oder Sulfates eines schweren Metalles mit der Lösung einer Base eines kohlen-, phosphor-, pyrophosphor- oder kieselsauren Salzes in Berührung, so sind die Zellen zuerst immer von einem hellen, leuchtenden Rande umgeben. Diese specifisch leichteren Lösungsschichten erheben sich bald, das Bild ähnelt dem Bilde IV. Die Zellwand wird bald undurchsichtig, und unter Umständen wird der leuchtende Rand schwächer, um schliess-

lich zu verschwinden; es verwandelt sich das Bild IV in das Bild I. Offenbar dauert in diesem Falle die Reaction beider Lösungen, trotz der Membranbildung, weiter fort. Die grosse Mehrzahl der Membranen ist für ihre Membranogene permeabel.

Trotzdem ich viele Niederschlagsmembranen untersucht habe, ist es mir nicht gelungen, mehr als zwei zu folgenden Versuchen geeignete Niederschlagsmembranen zu finden. Diese Membranen bestehen aus Ferrocyanzink und Ferrocyan Kupfer. Sie entstehen bei der Berührung von Zink- oder Kupfersalzlösungen mit Ferrocyankaliumlösungen.

Tropft man eine Ferrocyankaliumlösung in eine Zink- oder Kupfersalzlösung, so beobachtet man bei der Zellbildung mit immer verdünnteren Ferrocyankaliumlösungen die normale Aufeinanderfolge der Bilder I, II, III und IV. Tropft man umgekehrt die Kupfer- oder Zinksalzlösungen in eine Lösung von Ferrocyankalium, so erblickt man häufig eine anormale Aufeinanderfolge der Bilder.

Nur bei der Combination von Kupfersulfat- und Ferrocyankaliumlösungen ist es gleichgültig, welche Lösung von der Membran umschlossen wird. Die Aufeinanderfolge der Bilder bleibt in beiden Fällen normal.

Bildet man dagegen mit successiv verdünnten Lösungen von Kupferchlorid oder -nitrat Zellen in einer Ferrocyankaliumlösung, so gewahrt man erst das Bild I, dann das Bild II und schliesslich das Bild III. Doch dieses verwandelt sich bald in das Bild II, und man muss die Kupferchlorid- oder -nitratlösung noch ein wenig verdünnen, damit das Bild III dauernd beobachtet werden kann. Verdünnt man die genannten Lösungen, bis der osmotische Strom dauernd aus der Zelle tritt, bis die helle die Zelle am unteren Rande umgebende Schattirung nicht mehr verschwindet, so stimmen die isosmotischen Concentrationen mit denen überein, die man beim Eintreffen einer Ferrocyankaliumlösung in die genannten Lösungen erhält.

Tropft man die Lösungen von Zinkchlorid oder -nitrat in eine Ferrocyankaliumlösung, so erblickt man bei einer gewissen Verdünnung jener Lösungen die Zelle, umgeben von

einer hellen Schattirung. Doch bald verschwindet diese, und das Bild III verwandelt sich in das Bild I. Man kann jene Lösungen noch stark verdünnen; immer und immer wieder, wenn auch in immer längerer Zeitdauer, ändert der osmotische Strom seine Richtung. Denselben, nur nicht so beharrlich auftretenden Wechsel der osmotischen Stromrichtung beobachtet man, wenn die Zelle eine Zinksulfatlösung enthält. Die Concentrationen der Zinksulfatlösungen, bei denen die helle Schattirung am unteren Rande der Zelle eben sichtbar wird, stimmen mit den isosmotischen Concentrationen, bestimmt durch Eintropfen der Ferrocyankaliumlösung, vollkommen überein.

Die nach diesen beiden Methoden bestimmten isosmotischen Concentrationen der Zinkchlorid- und -nitratlösungen stimmen nicht vollständig überein.

Eine Erklärung der geschilderten anormalen Erscheinungen ist mir nicht gelungen. Doch theile ich einige Beobachtungen und Ueberlegungen mit, die bei der Erklärung jener Phänomene zu berücksichtigen wären.

1. Die Lösungen von Ferrocyankalium lösen Ferrocyanzink. Sind die Dampfspannungen dieser Lösungen grösser, als die der reinen Ferrocyankaliumlösungen, so wäre ein Theil der anormalen Erscheinungen verständlich.

2. Von den löslichen Reactionsproducten der genannten Salze und Ferrocyankalium vermögen Chlorkalium und Kaliumnitrat die Membranen von Ferrocyankupfer und -zink zu durchdringen. Für Kaliumsulfat sind jene Membranen impermeabel.

3. Gleich nach der Bildung einer Niederschlagsmembran sind die beiden der Membran anliegenden Lösungsschichten offenbar frei von den Membranogenen, sie enthalten nur das lösliche Reactionsproduct. Die Dicke jener beiden Schichten ist verschieden. Man kann die relative Dicke der einen Schicht in Bezug auf die andere aus der Concentration der sich berührenden Lösungen und der Reactionsgleichung der Membranogene ableiten. Aber die Concentration jener Schichten, kurz der ganze Vorgang bei der Membranbildung bleibt unbekannt.

Um das Versuchsmaterial besser zu übersehen, habe ich alle Versuche graphisch dargestellt. Auf Fig. 4 sind die isosmotischen Curven construiert. Als Ordinaten dienten immer die Molecularconcentrationen der Ferrocyankaliumlösungen, als Abscissen die Molecularconcentrationen der Lösungen jener Salze, mit deren Formel die Curven bezeichnet sind. Jeder Theilstrich auf den Ordinaten oder Abscissenaxe entspricht einem Grammmolecül, gelöst in 100 000 g Wasser. Die mit einem Kreuz bezeichneten Punkte deuten an, dass die Zellen die Ferrocyankaliumlösung enthalten; die von Kreisen umschlossenen Kreuze erinnern daran, dass die Ferrocyankaliumlösung die Zelle umgab.

Ist die Voraussetzung, dass Lösungen von gleichen osmotischen Coëfficienten gleiche Dampfspannungen zukommen, richtig, so müssen die Curven isosmotischer Concentrationen mit den analog construierten Curven gleicher Dampfspannungen, den in Fig. 4 punctirt gezeichneten Curven, zusammenfallen. In der That coïncidiren jene Curven.

In den folgenden Tabellen sind die Molecularconcentrationen (n), die Anzahl der in 1000 g Wasser gelösten Grammmolecüle und die Mengen (m) des in 100 Theilen Wasser gelösten wasserfreien Salzes für isosmotische Lösungen angegeben. Die Concentrationen der die Zellen umgebenden Lösungen stehen links, rechts die der von den Zellen eingeschlossenen Lösungen.

1. CuSO_4 4KCyFeCy_2				2. 4KCyFeCy_2 CuSO_4			
m	n	m	n	m	n	m	n
13,43	0,842	11,59	0,313	11,77	0,318	13,89	0,871
10,77	0,675	8,88	0,240	10,77	0,291	12,80	0,802
5,41	0,339	4,34	0,117	7,58	0,205	9,30	0,583
3,25	0,204	2,93	0,079	5,46	0,148	7,10	0,445
2,71	0,170	2,45	0,066	3,17	0,086	4,32	0,271
1,50	0,094	1,34	0,036	1,72	0,047	2,32	0,145
0,78	0,049	0,85	0,023	0,90	0,024	1,01	0,063

3. $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 4KCyFeCy_2				4. 4KCyFeCy_2 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$			
m	n	m	n	m	n	m	n
6,14	0,338	7,52	0,203	5,94	0,161	4,44	0,245
4,36	0,240	5,45	0,147	3,53	0,096	2,63	0,145
3,03	0,167	4,00	0,108	1,60	0,043	1,17	0,064
2,01	0,111	2,72	0,074	0,83	0,023	0,83	0,046
1,00	0,055	1,45	0,039				

Bringt man concentrirtere Lösungen von Kupferacetat und Ferrocyankalium zusammen, so beobachtet man sowohl bei der Combination 3, als auch bei der Combination 4 eine anormale Aufeinanderfolge der Bilder.

Bei den in den Tabellen 7 und 10 verzeichneten Concentrationen wird beim Verdünnen der Kupferchlorid- oder Kupfernitratlösungen das erste Auftreten der hellen Schattirung am unteren Rande der Zelle beobachtet. Um die isosmotischen Concentrationen (Tabelle 6 und 9) zu erhalten, wurden die Kupferchlorid- oder Nitratlösungen so lange verdünnt, bis jene Schattirung dauernd sichtbar blieb.

5. CuCl_2		4 KCyFeCy_3		6. 4 KCyFeCy_3		CuCl_2	
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
6,89	0,476	18,96	0,512	17,09	0,462	5,80	0,432
5,09	0,379	14,68	0,397	14,10	0,381	5,02	0,374
4,20	0,313	11,82	0,319	10,45	0,283	3,92	0,292
3,17	0,236	8,50	0,230	6,88	0,186	2,76	0,206
2,11	0,157	5,39	0,146	4,10	0,111	1,73	0,129
1,27	0,094	3,20	0,086	1,85	0,050	0,87	0,065
0,58	0,043	1,22	0,033				

7. 4 KCyFeCy_3		CuCl_2	
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
12,20	0,330	5,15	0,384
10,70	0,289	4,63	0,345
9,03	0,244	3,49	0,260
5,94	0,161	2,44	0,182
3,53	0,096	1,51	0,112
1,60	0,043	0,73	0,054
0,83	0,023	0,47	0,035

8. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$		4 KCyFeCy_3		9. 4 KCyFeCy_3		$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
10,38	0,554	21,67	0,586	17,09	0,462	8,85	0,472
8,24	0,439	16,25	0,439	14,10	0,381	7,46	0,398
6,83	0,364	13,00	0,351	10,45	0,283	5,75	0,307
5,10	0,272	9,28	0,251	6,88	0,186	4,09	0,218
3,46	0,185	5,87	0,158	4,10	0,111	2,42	0,129
2,02	0,108	3,27	0,088	1,85	0,050	1,29	0,069
0,92	0,049	1,39	0,038				

10. 4 KCyFeCy_3		$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
12,20	0,330	7,78	0,415
10,70	0,289	6,74	0,360
9,03	0,244	5,19	0,277
5,94	0,161	3,48	0,186
3,53	0,096	2,25	0,120
1,60	0,043	1,05	0,056
0,83	0,023	0,71	0,038

11. ZnSO_4				12. 4KCyFeCy_2				ZnSO_4			
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
20,60	1,280	20,30	0,549	17,09	0,462	18,32	1,139				
16,46	1,023	15,15	0,410	14,10	0,381	15,50	0,963				
13,70	0,851	12,18	0,329	10,45	0,282	12,65	0,786				
10,26	0,638	8,65	0,234	6,89	0,186	8,65	0,538				
6,84	0,425	5,75	0,155	4,10	0,111	5,55	0,345				
4,27	0,266	3,64	0,126								
1,87	0,101	2,24	0,061								

13. ZnCl_2				14. 4KCyFeCu_2				ZnCl_2			
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
5,97	0,440	17,52	0,473	21,70	0,586	7,63	0,563				
4,47	0,329	13,02	0,352	17,09	0,462	6,07	0,447				
2,97	0,219	8,00	0,216	14,10	0,381	5,04	0,371				
1,78	0,131	4,68	0,127	10,45	0,282	3,93	0,290				
0,81	0,060	2,60	0,070	6,89	0,186	2,86	0,211				
				4,10	0,111	1,80	0,133				

15. $\text{Zn(NO}_3)_2$				16. 4KCyFeCy_2				$\text{Zn(NO}_3)_2$			
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
9,13	0,483	21,50	0,581	21,70	0,586	9,67	0,512				
7,59	0,401	16,72	0,451	17,09	0,462	8,02	0,424				
5,67	0,300	12,70	0,343	14,10	0,381	6,68	0,353				
3,77	0,199	7,67	0,207	10,45	0,283	5,30	0,280				
2,26	0,119	4,27	0,115	6,88	0,186	3,90	0,206				
				4,10	0,111	2,65	0,140				

Es folgen die Molecularconcentrationen der Lösungen gleicher Dampfspannungen (T_1), welche ich der graphischen Darstellung meiner früheren ¹⁾ Messungen bei 100° C. entnehme.

T_1	n 4KCyFeCy_2 ,	n CuSO_4 ,	n ZnSO_4 ,	n $\text{Zn(NO}_3)_2$
755	0,15	0,47	0,45	0,15
750	0,31	0,81	0,88	0,31
745	0,45	1,19	1,55	0,45
740	0,59	1,65	1,88	0,55

Löst man in der Lösung des einen Membranogens (*A*) einen Stoff (*X*), der auf jenen nicht reagirt, so kann man für jene Lösung zweier Stoffe die isosmotischen Concentrationen der Lösung des anderen Membranogens (*B*) finden. Darf man annehmen, dass sich die Spannkrafterniedrigungen der Lösungen beider Stoffe als Summe der Spannkrafterniedrigungen jedes einzelnen Stoffes gelöst in derselben Quantität des Lösungsmittels betrachten lassen, so gibt die Beziehung

¹⁾ G. Tammann, Mém. l'Acad. de St. Pétersbourg (7) 35. Nr. 9. Tafel III u. IV.

$n_A + n_X = n_B$, und man erhält die bekannte isosmotische Concentration $n_X = n_B - n_A$.

Fügt man zu der Lösung, die den Stoff (X) und das Membranogen (A) enthält, die Lösung des anderen Membranogens, so bildet sich bei genügendem Zusatz des Stoffes (A) eine durchsichtige, elastische Membran; sonst tritt eine stärkere Fällung ein, die Membran ist undurchsichtig und leicht zerreissbar. Um die Bildung der normalen Membran zu erzielen, muss man concentrirten Lösungen des Stoffes (X) grössere Mengen des Membranogens (A) zusetzen, als verdünnten Lösungen.

Bei gleichen Molecularconcentrationen der Lösungen organischer Stoffe braucht man zur Bildung der normalen Membran einen geringeren Zusatz des Membranogens (A), als bei den anorganischen Salzen ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KCl , BaCl_2).

Der osmotische Strom durchdringt die undurchsichtige Membran, wenn auch langsamer als die durchsichtige. Zur Bestimmung der isosmotischen Concentrationen ist die normale Haut nicht zu brauchen, da bei ihrer Bildung zu bedeutende Mengen der Membranogene in Reaction treten. Die Bilder der nicht durchscheinenden Zellen erinnern an die der schon früher beschriebenen unbrauchbaren Zellen. Man kann unter Umständen gleichzeitig, sowohl verdünntere Lösungsschichten sich erheben, als auch concentrirtere sich senken sehen. Immer, wie auch die Concentrationen der die Membran bildenden Lösungen gewählt sind, ist im Anfangsstadium die Zelle von einem leuchtenden Rande verdünnterer Lösungsschichten umgeben.

Zur Feststellung der mitzutheilenden isosmotischen Concentrationen sind nur Lösungen, die normale Häute bilden, benutzt worden. Die Ferrocyankaliumlösung war von der Zellwand umschlossen, die Kupfer- oder Zinksalzlösung enthielt den zugesetzten Stoff, dessen isosmotische Concentration zu bestimmen war. Vermochte der zugesetzte Stoff (X) die Zellwand nicht zu durchdringen, so wurde immer die normale Reihenfolge der Bilder I, II, III und IV beobachtet. War die Wand für den Stoff (X) permeabel, so erblickt man bei einer gewissen Concentration der Ferrocyankaliumlösung die

Zelle am unteren Rande umgeben von einer hellen Schattirung, doch bald ändert sich dieses Bild, eine dunkle Schattirung drängt die helle vom Rande der Zelle ab. Das Bild III verwandelt sich schnell in das Bild II und schliesslich in das Bild I.

Setzt man die Verdünnung der Ferrocyankaliumlösung weiter fort, so tritt auf immer längere Zeit die helle Schattirung am unteren Rande der Zelle auf, um schliesslich doch von der Membran durch eine dunkle Schattirung verdrängt zu werden. Durchdringt der zugesetzte Stoff die Membran, so wird der osmotische Coëfficient des Zellinhaltes vergrössert und der der die Zelle umgebenden Lösungsschichten verringert, infolge dessen tritt nothwendigerweise ein Richtungswechsel des osmotischen Stromes ein. Offenbar wird die dunkle Schattirung so lange immer und immer wieder auftreten, bis die Ferrocyankaliumlösung der zur Lösung des Stoffes (X) verwandten Kupfer- oder Zinksulfatlösung isosmotisch wird. Aus diesen Gründen wurde bei den folgenden Titrationen als Indicator das erste Auftreten der hellen Schattirung gewählt.

Um das Verhalten des der Kupfersulfatlösung zugefügten Stoffes (X) zur Membran zu untersuchen, schichtete ich diese über eine Ferrocyankaliumlösung im Scheidetrichter. Der osmotische Strom ging immer von der Ferrocyankaliumlösung zur Kupferlösung, was man mit blossem Auge an den sich senkenden Streifen concentrirterer Ferrocyankaliumlösung leicht beurtheilen kann. Vermag der Stoff (X) die Membran nicht zu durchdringen, so sieht man die in der Ferrocyankaliumlösung sich senkenden Streifen längere Zeit, als wenn der Stoff die Membran durchdringt. Im letzteren Falle bildet sich bei den untersuchten Substanzen bald eine specifisch leichtere Schicht, deren osmotischer Coëfficient den der über der Membran lagernden Lösungsschichten übertrifft. Nachdem die Osmose 5—10 Minuten gewährt hatte, wurde aus dem Scheidetrichter ein Theil der Ferrocyankaliumlösung zur Prüfung entnommen.

1) Folgende Stoffe vermögen auch gegen die Richtung des osmotischen Stromes die Ferrocyankupfermembran zu

durchdringen: Chlorkalium, Kaliumnitrat, Harnstoff, Aethylalkohol, Aethyläther, Propylalkohol und Aethylacetat.

2) Für folgende Stoffe ist die Ferrocyanakupfermembran gegen die Richtung des osmotischen Stromes impermeabel: Chlorbarium, Ammoniumsulfat, Kaliumsulfat, Rohrzucker, Traubenzucker, Salicin, Isobutylalkohol und Chloralhydrat.

Bei der Bestimmung der isosmotischen Concentrationen wurde bei allen Stoffen der ersten Gruppe der beschriebene Wechsel der osmotischen Stromrichtung, bei den der zweiten Gruppe die normale Reihenfolge der Bilder beobachtet.

Da das erste Auftreten der die Zelle am unteren Rande umgebenden hellen Schattirung nicht ganz leicht zu beobachten ist, so sind bei den die Membran schnell durchdringenden Stoffen (siehe Aethylalkohol) grössere Fehler in der Bestimmung isosmotischer Lösung gemacht worden.

In den folgenden Tabellen sind die Concentrationen der Lösungen, die ein Membranogen und einen indifferenten Stoff enthalten, ferner die Concentrationen (n_B) der diesen Lösungen isosmotischen Ferrocyanalkaliumlösungen verzeichnet. Aus den schon mitgetheilten Tabellen sind die den Lösungen des Membranogens (A) isosmotischen Concentrationen (n_A) der Ferrocyanalkaliumlösungen zu entnehmen. Subtrahirt man diese Concentrationen von denen in der Spalte (n_B), so erhält man die in der Spalte (n_X), die den Lösungen des indifferenten Stoffes isosmotischen Concentrationen der Ferrocyanalkaliumlösungen.

1. $MgSO_4 + CuSO_4 = 4KCyFeCy_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,70	0,058	2,00	0,125	2,53	0,068	0,049	0,019
1,90	0,159	1,98	0,124	3,85	0,104	0,049	0,055
2,36	0,196	1,97	0,123	4,44	0,120	0,048	0,072
3,70	0,309	1,94	0,122	6,12	0,165	0,048	0,117
6,26	0,522	3,65	0,229	10,74	0,290	0,085	0,205

2. $MgSO_4 + CuSO_4 = 4KCyFeCy_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,94	0,078	2,96	0,185	3,63	0,098	0,070	0,028
1,65	0,138	2,92	0,184	4,42	0,119	0,070	0,049
3,31	0,275	2,87	0,181	6,41	0,173	0,069	0,104
4,79	0,399	2,84	0,178	8,15	0,220	0,068	0,152
6,40	0,534	2,80	0,175	10,46	0,283	0,067	0,216
8,14	0,678	2,75	0,172	13,20	0,357	0,066	0,291

3. $\text{MgSO}_4 + \text{ZnSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
1,03	0,086	3,35	0,210	4,00	0,108	0,080	0,028
2,26	0,188	3,31	0,207	5,35	0,145	0,080	0,065
3,14	0,262	3,27	0,205	6,51	0,176	0,080	0,096
4,48	0,373	3,23	0,202	8,22	0,222	0,079	0,143
5,00	0,417	3,21	0,201	8,84	0,239	0,078	0,161
5,79	0,483	3,19	0,200	9,85	0,266	0,078	0,188

In der graphischen Darstellung sind die Concentrationen der Versuchsreihen 1 und 2 mit Kreuzen, die der Versuchsreihe 3 mit umzogenen Kreuzen bezeichnet. Alle diese Punkte bilden einen Curvenzug. Weder die Menge des Membranogens (*A*), noch die Natur der halbdurchsichtigen Wand, die einmal aus Ferrocyan kupfer, das andere mal aus Ferrocyanzink besteht, ist auf das osmotische Gleichgewicht von Einfluss.

4. Rohrzucker + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
1,10	0,032	2,97	0,186	3,07	0,083	0,070	0,013
2,32	0,068	—	—	3,56	0,096	—	0,027
3,74	0,109	—	—	4,26	0,115	—	0,045
6,63	0,194	—	—	5,54	0,150	—	0,080
7,81	0,228	—	—	6,04	0,163	—	0,093
12,75	0,373	—	—	8,47	0,229	—	0,159

5. Rohrzucker + $\text{ZnSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
1,19	0,035	2,26	0,141	2,77	0,075	0,063	0,012
2,30	0,067	—	—	3,15	0,085	—	0,023
5,02	0,147	—	—	4,24	0,115	—	0,052
8,46	0,248	—	—	5,92	0,160	—	0,097
11,91	0,348	—	—	7,55	0,204	—	0,141

6. Salicin + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
0,23	0,008	2,97	0,186	2,79	0,075	0,070	0,005
0,86	0,030	—	—	2,98	0,081	0,070	0,011
1,43	0,050	—	—	3,38	0,091	0,070	0,021
2,02	0,071	—	—	3,72	0,101	—	0,031
3,70	0,130	—	—	4,71	0,127	—	0,057

7. Salicin + $\text{ZnSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
0,46	0,016	2,26	0,141	2,49	0,067	0,063	0,004
1,20	0,042	—	—	2,80	0,076	—	0,013
2,17	0,076	—	—	3,20	0,087	—	0,024
4,21	0,147	—	—	4,23	0,114	—	0,051

8. Aethylalkohol + $\text{CuSO}_4 = \text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,33	0,071	2,97	0,186	3,49	0,094	0,070	0,024
0,65	0,142	—	—	4,90	0,132	—	0,062
1,30	0,284	—	—	7,77	0,210	—	0,140
2,61	0,567	—	—	10,12	0,273	—	0,203
3,91	0,850	—	—	15,52	0,419	—	0,349
5,21	1,132	—	—	18,33	0,495	—	0,425

9. Harnstoff + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,96	0,160	2,97	0,186	6,14	0,166	0,070	0,096
1,86	0,309	—	—	9,19	0,248	—	0,178
2,90	0,483	—	—	11,54	0,312	—	0,242
4,54	0,756	—	—	16,14	0,436	—	0,366
6,90	1,150	—	—	21,70	0,586	—	0,516

10. Propylalkohol + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,27	0,045	2,97	0,186	3,30	0,089	0,070	0,019
0,68	0,113	—	—	4,37	0,118	—	0,048
1,35	0,225	—	—	6,57	0,178	—	0,108
2,71	0,451	—	—	10,36	0,280	—	0,210
4,06	0,677	—	—	13,83	0,374	—	0,304
5,42	0,903	—	—	16,81	0,454	—	0,384

11. Aethyläther + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,73	0,10	2,97	0,186	3,3	0,09	0,07	0,02
1,22	0,17	—	—	6,0	0,16	—	0,09

12. Isobutylalkohol + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,27	0,036	2,97	0,186	3,19	0,086	0,070	0,016
0,67	0,090	—	—	4,17	0,113	—	0,043
1,33	0,180	—	—	5,54	0,150	—	0,080
2,67	0,361	—	—	8,79	0,238	—	0,168
4,00	0,541	—	—	11,88	0,321	—	0,251
5,34	0,721	—	—	14,52	0,392	—	0,322

13. Aethylacetat + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

m	n	m	n	m	n_B	n_A	n_X
0,75	0,085	2,97	0,186	3,97	0,107	0,070	0,037
1,50	0,171	—	—	5,47	0,148	—	0,078
2,25	0,256	—	—	6,85	0,185	—	0,115
3,00	0,341	—	—	8,86	0,239	—	0,169
4,50	0,512	—	—	11,68	0,316	—	0,246

14. Chloralhydrat + $\text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
1,02	0,062	2,97	0,186	3,58	0,097	0,070	0,027
3,07	0,185	—	—	5,56	0,150	—	0,080
5,89	0,356	—	—	8,65	0,234	—	0,164
9,36	0,567	—	—	12,35	0,334	—	0,264
13,00	0,787	—	—	16,14	0,436	—	0,366
15,11	0,915	—	—	18,33	0,495	—	0,425

15. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 = 4\text{KCyFeCy}_2$.

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n_B</i>	<i>n_A</i>	<i>n_X</i>
0,67	0,050	2,97	0,186	3,94	0,106	0,070	0,036
1,02	0,077	—	—	4,73	0,128	0,070	0,058
1,73	0,131	—	—	6,47	0,175	0,070	0,105
2,70	0,204	—	—	8,33	0,225	0,070	0,155
4,76	0,360	5,12	0,321	14,95	0,404	0,112	0,292

Es folgen die Molecularconcentrationen der Lösungen gleicher Dampfspannungen (T_1):

$t = 100^\circ \text{C.}$	T_1	$n\ 4\text{KCyFeCy}_2$	$n\ \text{MgSO}_4$	$n\ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$n\ \text{Salicin}$
	755	0,15	0,40	0,25	0,39
	750	0,31	0,80	0,47	0,87
	745	0,45	1,29	0,63	1,51
	740	0,59	1,68	0,82	2,30

Da die aus den directen Messungen der Spannkrafts-erniedrigungen und aus den vorliegenden Versuchen abgeleiteten Curven gewöhnlich coïncidiren, so können die Spannkrafts-erniedrigungen des Dampfes aus den Lösungen zweier Stoffe als Summe der den Lösungscomponenten zukommenden Erniedrigungen betrachtet werden. Nur für einige Lösungen zweier Stoffe gilt jene Regel nicht. Die Lösungen von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und CuSO_4 , von BaCl_2 und CuCl_2 , von KCl und CaCl_2 scheinen grössere Dampfspannungs-erniedrigungen zu besitzen, als sich diese aus den Erniedrigungen ihrer Componenten berechnen. Für die Combination $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{KCyFeCy}_2$ überlagert die aus den osmotischen Versuchen abgeleitete Curve die mit Hülfe der directen Dampfspannungsbestimmungen construirte.

Die isosmotischen Curven der organischen Stoffe bilden ein engbegrenztes Curvenbündel. Die Abweichungen der einzelnen Bestimmungen von einer alle Beobachtungen zusammenfassenden Interpolationscurve erscheinen nicht grösser als die Beobachtungsfehler.

Dabei scheint es gleichgültig, ob der gelöste Stoff flüchtig oder nicht flüchtig ist. Bekanntlich ist aber die Dampfspannung des gelösten Stoffes von entscheidendem Einfluss auf die seiner Lösung. Bei gleicher Temperatur sind die Dampfspannungen der Lösungen zweier flüchtigen Stoffe gewöhnlich kleiner, als die des flüchtigeren, und immer grösser, als die des schwerer flüchtigen Stoffes.

Demnach besitzen die Ferrocyankaliumlösungen und die ihnen isosmotischen Lösungen von Aethyläther, Aethylalkohol oder Propylalkohol sicherlich nicht die gleichen Dampfspannungen.

Sind also zwei Lösungen isosmotisch, so sind die tumultuarischen Molecularbewegungen des gemeinsamen Lösungsmittels gleich. Sind die gelösten Stoffe nicht flüchtig, so kann die Dampfspannung als Maass der Molecularbewegung im Lösungsmittel betrachtet werden, und den isosmotischen Lösungen solcher Stoffe kommen gleiche Dampfspannungen zu.

Bei der Ausscheidung des Lösungsmittels als fester Stoff hat man ganz ähnliche Verhältnisse zu berücksichtigen. Ist ein flüchtiger Stoff im flüchtigen Lösungsmittel gelöst, so sind bei den Gefrierpunkten der Lösungen die Dampfspannungen des festen Lösungsmittels und der Lösung sicherlich nicht gleich. Wohl aber muss man beim Gefrierpunkte einer Lösung die Gleichheit der Bewegungszustände im festen und flüssigen Lösungsmittel annehmen. Die isosmotischen Lösungen flüchtiger Stoffe besitzen gleiche Gefrierpunkte.

Sind die Gefrierpunkts- und Spannkraftserniedrigungen proportional der Quantität des in gleichen Mengen des Lösungsmittels gelösten Stoffes, so sind die Quotienten der molecularen Gefrierpunkts- und Spannkraftserniedrigungen zweier Lösungen gleich dem Quotienten aus den isosmotischen Concentrationen jener Lösungen.

Folgende Tabelle enthält die Quotienten der molecularen Gefrierpunkts- und Spannkraftserniedrigungen nach Raoult¹⁾, die des angegebenen Stoffes dividirt durch die des Ferrocyankaliums. Mit

1) Raoult, Compt. rend. 94. p. 1517. 1882.

diesem Quotienten sind die Quotienten der isosmotischen Concentrationen für $n = 0,1$ und $n = 0,3$ verglichen.

	Quotienten der molecularen Ge- frierpunkts- erniedrigungen	Quotienten der is- osmotischen Con- centrationen	
		$n = 1$	$n = 3$
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,8	0,75	0,80
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	1,0	0,82	0,93
$\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	0,7	0,69	0,66
CuCl_2	1,0	0,90	1,00
MgSO_4	0,4	0,33	0,37
ZnSO_4	0,4	0,40	0,34
CuSO_4	0,4	0,41	0,36
Aethylalkohol	0,4	0,45	0,45
Rohrzucker	0,4	0,40	0,40
Salicin	0,4	0,42	—
Chloralhydrat	0,4	0,46	0,45
Aether	0,4	0,45	—
Harnstoff	0,4	0,50	—

Der von Raoult angegebene Werth der Gefrierpunkts-erniedrigung einer Ferrocyankaliumlösung scheint mir nicht richtig bestimmt, ich fand für jene Lösung ($m = 1$) den Gefrierpunkt bei $-0,12$ bis $-0,13^\circ \text{C}$.

Bei Gefrierpunktsbestimmungen sind ganz ähnliche Umstände wie bei den Bestimmungen der Dampfspannungen zu berücksichtigen. Scheidet sich aus einer Lösung Eis aus, so werden die Eiskrystalle von Lösungsschichten, die concentrirter sind als die ursprüngliche Lösung, umschlossen. Schmilzt das Eis in der Lösung, so werden die Schichten in der Umgebung der Eiskrystalle verdünnt. Der unter jenen Umständen beobachtete Gefrierpunkt liegt tiefer als der unter diesen bestimmte. Bei Lösungen von der Concentration $m=1$ können Unterschiede von $0,04^\circ \text{C}$. jener beiden Gefrierpunkte beobachtet werden.

Dorpat, im Januar 1888.

V. Die Aenderung des Fluoreszenzvermögens mit der Concentration; von B. Walter.

(Hierzu Taf. II Fig. 5 I—III.)

Die eigenthümliche Erscheinung, dass die Intensität des Fluoreszenzlichtes mit zunehmender Verdünnung einer fluorescirenden Lösung zuerst zu-, dann aber wieder abnimmt, gewinnt ein einheitlicheres, weniger befremdendes Aussehen, wenn man die Thatsache in Rücksicht zieht, dass mit zunehmender Concentration einer Lösung auch die Menge des absorbirten, d. h. in diesem Falle also die Menge des die Fluoreszenz erregenden Lichtes grösser wird. Um ein bestimmtes Beispiel vor Augen zu haben, gehe ich von einer Eosinlösung von $\frac{1}{2000}$ Verdünnung aus und nenne die Menge des von ihr absorbirten Lichtes A_1 , die Menge des von letzterem in ihr hervorgerufenen Fluoreszenzlichtes Fl_1 ; dann wird der Bruch Fl_1/A_1 angeben, ein wie grosser Theil der Energie des erregenden Lichtes in Fluoreszenzlicht umgewandelt ist, und dieser Bruch kann demnach als ein passendes Maass für die Fähigkeit dieser Lösung, Fluoreszenzlicht zu bilden — mit einem Worte für das „Fluoreszenzvermögen“ derselben gelten. Sind nun ebenso für eine Eosinlösung von $\frac{1}{1000}$ Verdünnung A_2 und Fl_2 dieselben Grössen, wie sie oben A_1 und Fl_1 für die Lösung $\frac{1}{2000}$ waren, so ist allerdings sicher, dass $Fl_2 > Fl_1$, aber es ist auch ebenso gewiss, dass $A_2 > A_1$, und der Quotient Fl_2/A_2 braucht deshalb noch keineswegs $> Fl_1/A_1$ zu sein; vielmehr zeigen die nachstehend angegebenen Untersuchungen, dass gerade das Umgekehrte der Fall ist, dass also die concentrirtere jener Lösungen, trotzdem die Intensität ihres Fluoreszenzlichtes grösser ist, dennoch ein geringeres Fluoreszenzvermögen besitzt als die dünnere.

Dasselbe gilt aber auch nach eben diesen Untersuchungen für alle anderen Concentrationen des Eosins, es gilt ferner auch für alle Verdünnungsgrade des Fluoresceins und des Magdalaroths, sodass ich demnach wohl kaum mit der Annahme fehl gehen dürfte, dass jenes Gesetz auch

für alle anderen fluorescirenden Flüssigkeiten Gültigkeit besitzt.

Das Fluorescenzvermögen einer fluorescirenden Flüssigkeit wächst mit zunehmender Verdünnung unaufhörlich — dies ist das wichtigste Resultat der nunmehr genauer zu besprechenden, im physikalischen Staatslaboratorium hieselbst im Laufe dieses Winters angestellten Versuche.

Die mir dabei zunächst obliegende Aufgabe war, die Grössen *A*, d. h. die Mengen des absorbirten Lichtes für die verschiedenen Concentrationen derselben fluorescirenden Substanz zu bestimmen. Da eine directe Messung der gesammten durchgelassenen Lichtmenge mit Hülfe des Bunsen'schen Photometers, selbst bei Vergleichung zweier an Concentration nicht sehr verschiedener Lösungen, wegen der ungleichen Farbennuancen keine zuverlässigen Resultate gab, so nahm ich zu der von Vierordt zu so grosser Vollkommenheit ausgebildeten Spectralphotometrie meine Zuflucht, d. h. ich bestimmte, die ganzen Absorptionsspectra der verschiedenen Lösungen im Vierordt'schen Spectralphotometer stückweise durchmessend, für jeden einzelnen Spectralabschnitt die Grösse des absorbirten Theiles der einfallenden Intensität, reducirte dann die einzelnen Theile mit Benutzung der von Vierordt selbst angegebenen Intensitätswerthe für die betreffenden Abschnitte des Petroleumlampenspectrums¹⁾ — ich arbeitete stets mit Petroleumlicht — auf ein und dieselbe Lichteinheit und erhielt schliesslich durch Addition der sämmtlichen, so erhaltenen Einzelwerthe die gesammte von der betreffenden Lösung absorbirte Lichtmenge. Es sei noch erwähnt, dass die Breite der für die Einzeluntersuchung herausgeschnittenen Spectralstreifen sich immer gleich blieb, und also die darin enthaltene Lichtmenge der gemessenen Intensität direct proportional war, dass jedoch, wenn eine zu schnelle Aenderung der Intensität an einzelnen Stellen des Absorptionsspectrums eine Verschmälerung des jeweilig

1) Vierordt, Die Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie der Absorptionsspectra. Tübingen 1873. p. 19.

untersuchten Spectralstreifens nöthig machte, dies natürlich bei obiger Berechnung in Rücksicht gezogen wurde.

Nachdem so für die sämtlichen Concentrationen einer und derselben fluorescirenden Substanz die absorbirten Lichtmengen bestimmt waren, blieb mir zweitens noch übrig, dieselben Lösungen hinsichtlich der Intensität ihres Fluorescenzlichtes zu vergleichen. Hierzu bediente ich mich ebenfalls des Vierordt'schen Spectralapparates, vor dessen beide Collimatorspalte zu diesem Zwecke je ein von rechts und ein von links her totalreflectirendes Prisma (Vergleichsprisma) angebracht wurde, um so das von jeder der beiden zu vergleichenden Lösungen ausgehende Fluorescenzlicht nur in einen der beiden Spalte eindringen zu lassen. Es wurden zwei vollkommen gleiche Reagensgläser zunächst mit Theilen derselben Concentration der zu untersuchenden Substanz gefüllt und jedes derselben, nachdem sie in geeigneten Stativen befestigt waren, vor je einem der Vergleichsprismen so aufgestellt, dass ihre Fluorescenzspectren bei gleicher Oeffnung der beiden Collimatorspalte gleiche Helligkeit zeigten. Darauf wurde vorsichtig das eine jener Gläser aus seinem Stativ genommen, entleert, mit einer andern Concentration der betreffenden Substanz gefüllt und genau wieder an die alte Stelle gebracht. Aus der Erweiterung, resp. Verengerung des zugehörigen Spaltes wurde dann direct das Intensitätsverhältniss der Fluorescenzspectren beider Lösungen bestimmt, und zwar wurden hier sofort die ganzen Fluorescenzspectren auf einmal verglichen, was um so leichter angeht, als dieselben nach vorhergegangenen Untersuchungen für alle Concentrationen derselben Substanz nahezu dieselbe, übrigens nicht sehr grosse Breite im Spectralraume ausfüllen.

In derselben Weise wurden auch alle anderen Concentrationen der jeweilig untersuchten Substanz mit der zuerst angebrachten Lösung hinsichtlich der Intensität ihres Fluorescenzlichtes verglichen und zur Controle ausserdem noch dieselbe Versuchsreihe mit einer anderen Concentration als Ausgangslösung vorgenommen. Dabei ist hervorzuheben, dass die erregende Lichtquelle für die beiden verglichenen Lösungen immer ein und dieselbe Petroleumlampe war,

sodass also die Helligkeitsschwankungen derselben nicht in Betracht kamen.

Die Absorption der Flüssigkeit für ihr eigenes Fluorescenzlicht wurde nicht berücksichtigt, da dieselbe in allen Fällen nur von sehr minimaler Bedeutung sein kann: bei den dünneren Lösungen nämlich, weil sich hier die Absorption überhaupt noch nicht über diejenigen Spectraltheile erstreckt, denen der vorwiegende Theil des Fluorescenzlichtes angehört; bei den concentrirteren Lösungen aber deshalb, weil hier wieder die Bildung des Fluorescenzlichtes nur in den vordersten Schichten der Flüssigkeit stattfindet. Die Thatsache, dass die Ausdehnung des Fluorescenzspectrums gerade nach der violetten Seite hin für alle Concentrationen unverändert dieselbe bleibt, ist der unzweideutige Beweis für die Zulässigkeit dieser Schlüsse.

In Bezug auf die bei diesen Versuchen angewandten Apparate sei noch erwähnt, dass das aus der optischen Anstalt von A. Krüss hierselbst stammende Vierordt'sche Spectralphotometer mit sich symmetrisch öffnenden Spalten versehen war¹⁾, und dass als Absorptionsgefäß für die zu untersuchenden Flüssigkeiten das zerlegbare Schulz'sche Gefäß von 11 mm Schichtweite mit einem 10 mm dicken Flintglaswürfel gebraucht wurde. Dieser Glaswürfel hat bekanntlich nur die halbe Höhe des Absorptionsgefäßes, sodass, wenn letzteres mit der Lösung gefüllt ist, das durchgehende Licht in der oberen Hälfte 11 mm, in der unteren 1 mm Flüssigkeit, ausserdem hier aber noch den Flintglaswürfel zu passiren hat. Nennt man a den Durchlasscoefficienten einer Flüssigkeitsschicht von 10 mm Dicke, d. h. diese Schicht möge von der einfallenden Lichtmenge J nur den Bruchtheil aJ durchlassen; ist ferner b der Durchlasscoefficient des Glaswürfels, so ist $\sqrt[10]{a}$ dieser Coefficient für 1 mm und $\sqrt[10]{a^{11}}$ der für 11 mm Flüssigkeit, sodass die einfallende Lichtmenge J oben auf $J\sqrt[10]{a^{11}}$ und unten auf $Jb\sqrt[10]{a}$ abgeschwächt wird. Das Verhältniss beider Lichtmengen ist a/b ;

1) Die Beschreibung des Mechanismus (von Dr. H. Krüss) befindet sich in 'Carl's Rep. 18. p. 217. 1882.

und da dieses Verhältniss eben durch Anwendung des Vierordt'schen Spectralphotometers gemessen wird, so ist hiermit, vorausgesetzt dass die Grösse b bekannt ist, auch die Grösse a gegeben. Den Durchlasscoefficienten b des Flintglaswürfels bestimmt man für jede zu untersuchende Substanz an jeder in Frage kommenden Spectralstelle ein für alle mal dadurch, dass man das Gefäss bei darin befindlichem Würfel mit dem Lösungsmittel jener Substanz füllt und es in der üblichen Weise vor den Spalten aufstellt. Das Verhältniss der oberen und unteren Spaltweite gibt dann, wenn auf gleiche Helligkeit beider Spectralabschnitte eingestellt ist, für die betreffende Wellenlänge unmittelbar die gesuchte Grösse b , mit deren Hülfe man in der oben angegebenen Weise auch die Grösse a findet. Letztere ist natürlich ein echter Bruch und gibt uns an, ein wie grosser Theil von der Einheit der an der betreffenden Spectralstelle befindlichen Lichtmenge von 10 mm der untersuchten Flüssigkeit durchgelassen wird, sodass mithin die Grösse $1 - a$ den von dieser Flüssigkeitsschicht absorbirten Bruchtheil jener Lichteinheit ausdrückt. Diese Grösse, die ich als den Absorptionscoefficienten jener Lösung für die betreffende Wellenlänge bezeichne, findet man in der folgenden Tabelle für die verschiedenen Verdünnungen des Fluoresceins (erste Horizontalreihe) und für die in Betracht kommenden Stellen des Spectrums (erste Verticalreihe) angegeben, wobei die Lage im Spectrum derartig bezeichnet ist, dass z. B. $D60E$ die Stelle bedeutet, welche man erhält, wenn man den Abstand der Fraunhofer'schen Linien D_α und E in 100 Theile theilt und dann von D_α aus um 60 dieser Theile nach der brechbareren Seite hinschreitet. Die in der Tabelle angegebenen Verdünnungen beziehen sich auf eine zu Anfang jeder Versuchsreihe hergestellte Normallösung; die in der letzten Verticalcolumnne angegebenen Zahlen stellen die durch Interpolation aus den Vierordt'schen Angaben erhaltenen Werthe für die Intensität des Lichtes an der betreffenden Stelle des Petroleumlampenspectrums dar. Die Zahlen Vierordt's beziehen sich auf das prismatische Spectrum und müssen sich demnach mit der Dispersion des angewandten

Prismas ändern; aus der Angabe der Lage der Fraunhofer'schen Linien bei Vierordt ersah ich jedoch, dass die Dispersion des in meinem Photometer befindlichen Prismas nahezu dieselbe war, wie bei demjenigen des genannten Beobachters.

Tabelle I.

Absorptionscoefficienten für die verschiedenen Verdünnungen des Fluoresceins.

Stelle im Spectrum	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{128}$	Intensität im Spectr.
D 60 E	0,03	0,02	—	—	—	—	—	3650
D 69 E	0,05	0,09	0,06	—	—	—	—	3275
D 79 E	0,14	0,11	0,06	—	—	—	—	2900
D 89 E	0,22	0,16	0,12	0,05	0,01	—	—	2550
D 98 E	0,37	0,24	0,22	0,07	0,06	—	—	2030
E 8 F	0,56	0,35	0,26	0,19	0,06	0,07	—	1400
E 18 F	0,84	0,50	0,34	0,25	0,11	0,12	0,01	1320
E 29 F	0,93	0,73	0,60	0,51	0,31	0,12	0,02	1210
E 39 F	0,99	0,92	0,73	0,72	0,45	0,14	0,04	960
E 49 F	1,00	1,00	0,96	0,88	0,66	0,18	0,12	807
E 60 F	1,00	1,00	1,00	0,95	0,81	0,26	0,21	643
E 70 F	1,00	1,00	1,00	0,98	0,83	0,44	0,22	375
E 80 F	1,00	1,00	1,00	0,97	0,84	0,51	0,26	366
E 91 F	1,00	1,00	1,00	0,96	0,82	0,59	0,30	341
F 1 G	1,00	1,00	1,00	0,94	0,78	0,62	0,33	203
F 6 G	1,00	1,00	1,00	0,92	0,73	0,60	0,27	166
F 11 G	1,00	1,00	0,99	0,87	0,66	0,54	0,20	140
F 16 G	1,00	1,00	0,98	0,82	0,57	0,51	0,19	135
F 21 G	1,00	1,00	0,96	0,80	0,60	0,45	0,11	131
F 26 G	1,00	1,00	0,95	0,76	0,51	0,39	0,14	116
F 31 G	1,00	1,00	0,95	0,74	0,47	0,30	0,12	75
F 36 G	1,00	1,00	0,94	0,72	0,51	0,30	0,12	45
F 41 G	1,00	1,00	0,93	0,70	0,47	0,24	0,07	41
F 46 G	1,00	0,99	0,90	0,65	0,48	0,16	0,02	37
F 51 G	1,00	0,99	0,88	0,63	0,37	0,07	—	33
F 56 G	1,00	0,98	0,83	0,56	0,32	—	—	32
F 61 G	1,00	0,97	0,82	0,51	0,32	—	—	27
F 66 G	1,00	0,95	0,81	0,47	0,26	—	—	23
F 71 G	1,00	0,93	0,72	0,46	0,26	—	—	14
F 76 G	0,99	0,90	0,72	0,45	—	—	—	11,2
F 81 G	0,99	0,88	0,65	0,37	—	—	—	10,6
F 91 G	0,97	0,82	0,58	0,31	—	—	—	8,1
G 1 H	0,96	0,79	0,54	0,20	—	—	—	6,2
G 12 H	0,93	0,74	0,48	0,23	—	—	—	5,5
G 23 H	0,89	0,66	0,35	0,17	—	—	—	4,8

Bevor jedoch auf Grund dieser Tabelle die gesammten, von den einzelnen Verdünnungen absorbirten Lichtmengen berechnet werden, ist noch zu berücksichtigen, dass

nicht alles von der Flüssigkeit absorbirte Licht im Stande ist, die Fluorescenz hervorzurufen. Entwirft man nämlich auf der Vorderseite eines grösseren Absorptionsgefässes, in welches man nach und nach immer stärkere Concentrationen einer fluorescirenden Substanz bringt, ein die Fraunhofer'schen Linien zeigendes Spectrum, so bemerkt man, dass die Erregung des Fluorescenzlichtes zunächst genau der Absorption entspricht, dass jedoch von einer gewissen Concentration an diese Correspondenz aufhört, indem nämlich von jetzt ab die Fluorescenzerrregung nach der weniger brechbaren Seite hin sich immer nur bis zu einer ganz bestimmten Wellenlänge erstreckt, während dagegen die Absorption sich auch jetzt noch mit zunehmender Concentration immer weiter über das Spectrum hin ausdehnt. So sind z. B. für das Fluoresceïn die letzten, überhaupt noch erregungsfähigen Strahlen diejenigen aus der Gegend der Fraunhofer'schen Linie *E*, während man Concentrationen dieser Substanz herstellen kann, bei denen die Absorption noch Wellenlängen umfasst, welche in den Spectralabschnitt zwischen *C* und *D* gehören. Es kommen demnach hier von den in dieser Tabelle angegebenen Absorptionscoëfficienten nur diejenigen in Betracht, welche sich unterhalb des wagerechten Striches befinden.

Diese Coëfficienten wurden mit den in der letzten Verticalreihe rechts daneben stehenden Intensitätswerthen multiplicirt, und dann die so erhaltenen, einer und derselben Verdünnung angehörenden Zahlenwerthe addirt. So erhält man für jede der angegebenen Concentrationen des Fluoresceïns eine Relativzahl für die Gesamtmenge des absorbirten Lichtes, und diese ist in der folgenden Tabelle II unter *A* angegeben, während rechts daneben, in der Rubrik unter *F*, die in der früher beschriebenen Weise bestimmten Intensitäten des Fluorescenzlichtes dieser Lösungen stehen. Die Zahlen der nächsten Verticalreihe, unter *f*, sind durch Division der beiden links daneben stehenden erhalten und stellen also das Fluorescenzvermögen der betreffenden Verdünnung (in Relativzahlen) dar; die Zahlen der letzten Spalte endlich, unter *Z*, zeigen die Grösse der Zunahme des Fluorescenzvermögens beim Uebergang von einer Concentration zur

nächst dünneren an und sind durch Division der beiden aufeinander folgenden Werthe des Fluorescenzvermögens enthalten.

Tabelle II.

Fluorescenzvermögen der verschiedenen Verdünnungen des Fluoresceins.

Verdünnung	<i>A</i>	<i>Fl</i>	<i>f</i>	<i>Z</i>
$\frac{1}{2}$	7945	94	0,0118	1,37
$\frac{1}{4}$	6699	109	0,0161	1,29
$\frac{1}{8}$	5931	123	0,0207	1,20
$\frac{1}{16}$	5070	126	0,0248	1,09
$\frac{1}{32}$	3688	100	0,0271	1,55
$\frac{1}{64}$	1919	81	0,0422	1,54
$\frac{1}{128}$	801	52	0,0649	

An diese Tabelle II schliesse ich sofort die beiden Tabellen III und IV an, die für Magdalaroth und Eosin dieselben Angaben enthalten, wie die erstere für das Fluorescein. Die Tabellen der Absorptionscoëfficienten jener beiden Stoffe können füglich weggelassen werden, da dieselben von keiner principiellen Bedeutung sind, und es mag daher nur noch erwähnt werden, dass die Fluorescenzerrregung sich nach der rothen Spectralseite hin beim Eosin nicht über *D 65 E* und beim Magdalaroth nicht über *C 80 D* hinaus erstreckt, sodass also alles absorbirte Licht, welches jenseits dieser Grenzen lag, bei den für diese Körper angestellten Berechnungen nicht in Rücksicht gezogen wurde.

Tabelle III.

Fluorescenzvermögen der verschiedenen Verdünnungen des Magdalaroths.

Verdünnung	<i>A</i>	<i>Fl</i>	<i>f</i>	<i>Z</i>
concentrirt	69453	28	0,000 403 2	1,65
$\frac{1}{10}$	66143	44	0,000 665 3	1,55
$\frac{1}{100}$	61117	63	0,001 030 8	1,99
$\frac{1}{1000}$	48834	100	0,002 047 7	1,40
$\frac{1}{10000}$	33502	96	0,002 865 7	2,25
$\frac{1}{1024}$	12070	78	0,006 462 3	

Tabelle IV.

Fluoreszenzvermögen der verschiedenen Verdünnungen des Eosins.

Verdünnung	<i>A</i>	<i>Fl</i>	<i>f</i>	<i>Z</i>
$\frac{1}{8}$	27126	18	0,000 663	2,85
$\frac{1}{32}$	26946	51	0,001 893	2,31
$\frac{1}{128}$	22864	100	0,004 374	1,31
$\frac{1}{512}$	13834	79	0,005 711	1,60
$\frac{1}{2048}$	4164	38	0,009 126	

Die drei Tabellen II—IV zeigen uns übereinstimmend, dass das Fluoreszenzvermögen (Spalte *f*) mit zunehmender Verdünnung der fluorescirenden Lösung gleichfalls unaufhörlich zunimmt. Diese Zunahme ist allerdings nach den Zahlen der letzten Verticalspalten keine gleichmässige, wie man vielleicht wegen des gleichmässigen Fortschreitens der Verdünnung (erste Verticalreihe) erwarten könnte; man darf jedoch nicht vergessen, dass sich diese ganzen Berechnungen nur auf die Gesamtmenge des absorbirten Lichtes ohne Rücksicht auf die Wellenlänge beziehen, und wird deshalb auch wohl kaum erwarten können, hierdurch über ein Gesetz Aufschluss zu erlangen, das vielleicht für jede Wellenlänge ein anderes ist. Immerhin zeigen aber die drei untersuchten Substanzen noch darin eine sehr bemerkenswerthe Uebereinstimmung, dass bei allen die Zunahme (*z*) des Fluoreszenzvermögens gerade dort, wo das Fluoreszenzlicht eben das Maximum seiner Intensität überschreitet (fett gedruckte Zahlen), eine erhebliche Verkleinerung aufweist, während sie bei stärkerer Verdünnung wieder grösser wird. Stellt man sich demnach das Wachsthum des Fluoreszenzvermögens durch eine Curve dar, indem man die wachsende Abscisse (*v*) als wachsende Verdünnung und das Fluoreszenzvermögen (*f*) als Ordinate ansieht, so erhält man für die drei obigen Körper in der angegebenen Reihenfolge die drei Curven I, II und III (Tafel II), die in mehr als einem Punkte übereinstimmen, deren wesentlichste Harmonie aber jedenfalls darin besteht, dass alle mit zunehmender Abscisse auch eine fortwährend zunehmende Ordinate aufweisen, worin sich eben das Gesetz der continuirlichen Zunahme des Fluoreszenzvermögens bei wachsender Verdünnung ausspricht.

Unter dieses Gesetz, das sich mit grosser Wahrscheinlichkeit auf sämtliche fluorescirenden Flüssigkeiten verallgemeinern lässt, ordnet sich noch eine Anzahl von Erscheinungen, die zwar längst bekannt, jedoch bisher noch nicht in bestimmten Zusammenhang gebracht worden sind. Hierzu gehört namentlich die bei allen diesen Flüssigkeiten gemachte Beobachtung, dass die Fluorescenz bei sehr starker Concentration derselben immer nur sehr wenig zu Tage tritt, bei fortschreitender Verdünnung jedoch immer lebhafter wird, von einem gewissen Concentrationsgrade an aber wieder abzunehmen beginnt, bis sie schliesslich bei sehr hohem Verdünnungsgrade sich allmählich ganz unserer Wahrnehmung entzieht.

Das oben bewiesene Gesetz erklärt alles, denn es ist augenscheinlich, dass bei einem anfänglich unendlich kleinen, mit der Verdünnung aber fortwährend wachsenden Fluorescenzvermögen die Intensität des Fluorescenzlichtes zuerst gleich Null sein, dann allmählich wachsen, später aber wieder ebenso allmählich abnehmen muss, da ja zuletzt bei unendlich grosser Verdünnung überhaupt kein Licht mehr absorbiert wird und also auch kein Fluorescenzlicht mehr gebildet werden kann, wie gross auch dann das Fluorescenzvermögen der Flüssigkeit sein mag. Dass das letztere aber gerade bei solchen sehr dünnen Lösungen ein ganz bedeutendes sein muss, zeigt sich eben darin, dass das Fluorescenzlicht in einer geradezu staunenswerthen Intensität selbst dann noch sichtbar bleibt, wenn an eine Messung der absorbierten Lichtmenge überhaupt nicht mehr zu denken ist. Man muss dabei nämlich immer noch berücksichtigen, dass das Fluorescenzlicht sich von dem fluorescirenden Theilchen aus nach allen Seiten des Raumes hin ausbreitet, dass sich also die Energie des erregenden (absorbirten) Lichtes gewissermassen in unendlich viele Theile spaltet, und unser Auge mithin schon aus diesem Grunde nur einen sehr kleinen Bruchtheil jener Energie aufzufangen vermag. Es dürfte daher die Annahme nicht allzu gewagt erscheinen, dass bei den sehr hohen Verdünnungsgraden fluorescirender Lösungen die gesammte von der Flüssigkeit absorbierte Energie in Fluorescenzlicht umge-

wandelt wird, während dagegen bei stärkeren Concentrationen natürlich nur ein ziemlich unbedeutender Theil derselben in dieser Weise verbraucht wird.

Als eine weitere Illustration zu dem oben bewiesenen Gesetze soll endlich noch die Thatsache erwähnt werden, dass die meisten fluorescirenden Substanzen, wie Fluorescein, Magdalaroth, Eosin, Chlorophyll, Aeskulin u. s. w., die in Lösung ein so ausserordentlich starkes Fluorescenzlicht zeigen, in festem Zustande kaum eine Spur davon verrathen, trotzdem ihre Absorption, nach der Farbe der Körper zu urtheilen, auch dann noch den Lösungen gegenüber in normaler Weise zugenommen haben muss. Es ist dies der deutlichste Beweis dafür, dass das Fluorescenzvermögen dieser Körper bei grösstmöglicher Concentration die niedrigste Stufe erreicht.

Wenn dem gegenüber feststeht, dass es eine Menge fester Körper gibt, die ein sehr merkliches Fluorescenzlicht verbreiten, so scheint das letztere auch selbst hier noch in den meisten Fällen einem gleichsam verdünnenden Medium (Krystallwasser oder dergl.) seinen Ursprung zu verdanken; indessen bezieht sich der oft erwähnte Satz bis jetzt natürlich nur auf solche fluorescirende Substanzen, die sich in irgend einem flüssigen Medium gelöst befinden.

Hamburg, Phys. Staatslabor., Winter 1887/88.

**VI. Untersuchung über die Lichtbrechungsverhältnisse des Eises und des unterkühlten Wassers, nebst einem Anhang, die Polarisationsverhältnisse der Grenzcurven der Totalreflexion betreffend;
von C. Pulfrich.**

(Hierzu Taf. II Fig. 6—7.)

Durch die gegenwärtige Untersuchung, welche während des letzten Winters zur Ausführung gelangte, ist die Frage nach einer genauen Kenntniss der beiden Hauptbrechungsexponenten des Eises für die Fraunhofer'schen Linien A—F

erledigt und der Gang der Brechungsexponenten des unter 0° unterkühlten Wassers endgültig festgestellt worden.

Letzteres ist besonders deshalb von grossem wissenschaftlichen Interesse, weil die Dichtigkeitscurve des Wassers bei $+4^\circ$ C. ein Maximum hat und für Wasser im unterkühlten Zustande schnell abfällt. Nach der Zusammenstellung von Rossetti¹⁾ kennt man die Dichte des Wassers bis -10° . Die Curve *D* in Fig. 6 ist nach den Rossetti'schen Angaben construirt. Was den Brechungsexponenten betrifft, so ist bekannt, dass derselbe von 0 bis 100° stetig und unbekümmert um das Maximum der Dichte bei $+4^\circ$ abnimmt. Dieses Verhalten des Brechungsexponenten wird ja mit Vorliebe herangezogen, wenn es sich darum handelt, die nicht streng richtige Proportionalität des Brechungsexponenten und der Dichte zu erweisen, mit anderen Worten, wenn man die Ausdrücke $(n-1)/d$, resp. $(n^2-1)/d$ nur als angenäherte Constanten hinstellen will.

Sieht man aber bei den Rühlmann'schen Messungen genauer zu, so erkennt man, dass die Curve der Brechungsexponenten vor einem Wendepunkte zu stehen scheint, der vielleicht unterhalb 0° liegt. Rühlmann sagt selbst²⁾, „eine einzelne frühere Bestimmung habe es ihm als wahrscheinlich erscheinen lassen, dass unter 0° bei flüssigem Wasser der Brechungsexponent wieder abnehme.“

Dem gegenüber stehen die im Jahre 1881 von Damien³⁾ ausgeführten Bestimmungen der Brechungsexponenten des bis -8° unterkühlten Wassers. Damien findet nämlich unter Anwendung des Prismenverfahrens für die drei *H*-Linien eine geringe, aber stetige weitere Zunahme der Brechungsexponenten.

Meine eigenen Beobachtungen haben nun unzweifelhaft das Resultat ergeben, dass in der That ein Maximum auch für den Brechungsexponenten des Wassers besteht, dass dasselbe bei -1 bis -2° liegt, und dass

1) Rossetti, Pogg. Ann. Ergbd. 5. p. 268. 1871.

2) Rühlmann, Pogg. Ann. 133. p. 184. 1867.

3) Damien, Ann. de l'école norm. sup. II. 10. p. 275. 1881; Landolt-Börnstein, Physik.-Chemische Tabellen, 1883. p. 205.

unterhalb dieser Temperatur der Brechungsexponent wieder schnell abnimmt. Im Gegensatz zu den Damien'schen Resultaten hat dieses Ergebnis auch die innere Wahrscheinlichkeit für sich. Das Dichtigkeitsmaximum bei 4° findet allgemein seine Erklärung durch die Annahme, dass die einzelnen Wassertheilchen hier schon anfangen, sich in diejenige Lage zurechtzuschieben, welche sie später im Eise einnehmen (vgl. unten p. 337). Wenn man nun auch nicht im Stande sein wird, durch Unterkühlung das Wasser stetig aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand überzuführen¹⁾, so lässt sich doch ein solcher Uebergang denken. Derselbe ist aber für die Dichte und den Brechungsexponenten gleichbedeutend mit einer stetigen Abnahme dieser Grössen. Denn Eis hat sowohl eine kleinere Dichte, als auch einen kleineren Brechungsexponenten als Wasser. Ich füge noch hinzu, dass dieses Resultat, wie Hr. Ketteler²⁾ bereits mitgetheilt hat, in Uebereinstimmung mit der von ihm aufgefundenen Beziehung zwischen Brechungsexponent und Körperdichte sich befindet.

I. Die Brechungsexponenten des Wassers zwischen $+10$ und -10° Celsius.

Zur Erledigung dieses Theiles der Arbeit erscheint das Flüssigkeitsrefractometer³⁾ besonders geeignet. Dasselbe unterscheidet sich von dem früher beschriebenen Totalrefractometer⁴⁾ nur dadurch, dass an Stelle des drehbaren Cylinders ein feststehendes Prisma von genau 90° gebracht worden ist. Auf dem Prisma, dessen obere Fläche von einer Kugelhaube umgeben ist, ist die zur Aufnahme der Flüssigkeit bestimmte Glasröhre aufgekittet. Es erfolgt deshalb, unbeschadet der Schärfe der Grenzcurve, der streifende Eintritt über die Kittstelle hinweg.

1) Unter besonders günstigen Umständen hat Dufour (Pogg. Ann. 114. p. 534. 1861) die flüssige Form des Wassers noch bei -20° beobachtet.

2) Ketteler, Wied. Ann. 33. p. 516. Ann. 2. 1888.

3) Pulfrich, Zschr. f. Instrumentenk. Febr. 1886. p. 47.

4) Pulfrich, Wied. Ann. 30. p. 193 u. 487; 31. p. 724. 1887.

Die Beleuchtung geschah in bekannter Weise mit Nalicht und Linse. Andere Farben anzuwenden versprach für den gegenwärtigen Zweck wenig Erfolg, da schon aus den Damien'schen Zahlen hervorgeht, dass der Verlauf der Curve für alle Farben derselbe ist. Um jede Wärmestrahlung vom Apparate fern zu halten, habe ich meist die Flamme mehr als 3 m weit fortgerückt und in die Brennweite eines Hohlspiegels gebracht. Die Glasröhre wurde mit destillirtem und vor Beginn der Versuchsreihe nochmals ausgekochtem Wasser zum Theil gefüllt und schliesslich mit einer Oelschicht bedeckt. Ein sehr empfindliches und in $\frac{1}{10}^{\circ}$ getheiltes Thermometer stand auf dem Boden des Gefässes.

Da für den zu messenden Austrittswinkel i die Nullstellung constant bleibt, so hat man nur durch Bewegung der Mikrometerschraube den Angaben der Grenzcurve zu folgen und am Theilkreise abzulesen, ohne im übrigen den Apparat zu erschüttern. Ich habe mich für die in Frage kommende Temperaturdifferenz durch directe Versuche von der Constanz des Nullpunktes überzeugt. Da der ganze Apparat an der Abkühlung Theil nahm, so war eine Aenderung des Nullpunktes von vornherein nicht ausgeschlossen. Der Theilkreis besitzt einen Durchmesser von 12 cm, ist in $\frac{1}{2}^{\circ}$ getheilt und lässt mittelst Nonius 1' direct ablesen. Unter Berücksichtigung der benachbarten Theilstriche und bei Vermeidung einer einseitigen Beleuchtung lassen sich halbe und drittel Minuten noch bequem schätzen. Ich habe gefunden, dass die Ablesungsfehler selten den Werth von $\frac{1}{10}'$ überschritten.

Die genaue Einstellung auf die Grenzcurve erfolgt am besten, wenn man dem Fadenkreuz eine solche Lage zur Grenzcurve gibt, dass letztere den Winkel zwischen den beiden Fäden halbt. Indessen habe ich die Parallelstellung eines Fadens zur Grenze beibehalten, und da es sich nur um relative Verschiebungen handelt, den Durchschnittspunkt des Fadens mit der Ocularblende zur Einstellung verwerthet. Infolge der Krümmung der Curve trifft letztere mit dem Faden unter einem spitzen Winkel zusammen, und so macht sich hier die geringste Verschiebung der Grenzcurve sofort

bemerkbar. Ich habe oft noch kleine Verschiebungen beobachten können, die der Theilkreis nicht mehr abzulesen gestattete. Es wurde deshalb jedesmal eine Bemerkung mit in das Beobachtungsprotocoll aufgenommen darüber, ob sich die Grenzcurve in dem einen oder anderen Sinne verschoben hatte.

Im Anfang ist es mir selten gelungen, die Unterkühlung tiefer als -5° zu treiben. Die Abkühlung geschah durch Oeffnen des Fensters. oder durch Bespritzen eines um die Glasröhre gewickelten Tuchstreifens mit Aether. Besonders im letzteren Falle lag der Grund des Misslingens in dem Umstande, dass die Abkühlung zu schnell und zu unregelmässig erfolgte. Aber in allen diesen oft wiederholten Versuchen habe ich das in der Einleitung hervorgehobene Resultat bestätigt gefunden. Bei fallender Temperatur verschob sich die Grenzcurve stets, bis sie bei etwa 0° bis -3° eine constante Lage beibehielt, um dann bei weiterem Sinken der Temperatur wieder in umgekehrter Richtung sich zu bewegen. Um diese Umkehrung der Bewegungsrichtung zu erkennen, hat man also nur auf die relative Lage der Curve zum Fadenkreuz zu achten, ohne sich im übrigen um den Theilkreis zu kümmern.

Es kam somit nur darauf an, durch eine geregelte und langsame Abkühlung des Beobachtungsraumes den Eintritt des Gefrierens noch weiter nach unten zu rücken und die Lage des Maximums genauer zu präcisiren. Es ist mir denn auch schliesslich, indem ich das Fenster zuerst nur wenig, nach und nach immer mehr öffnete, gelungen, noch bei -8° Einstellung und Ablesung auszuführen. Das plötzlich eingetretene Thauwetter hat eine weitere Verfolgung der Sache vereitelt.

Die folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Resultate. Einige Stunden vor Beginn der Versuchsreihe war der Apparat in dem durch Gasflammen auf $+5^{\circ}$ erwärmten Raume aufgestellt. Auch das Wasser hatte im Augenblick des Eingiessens diese Temperatur. Ueber den Zutritt der kalten Luft gaben mehrere im Zimmer aufgehängte Thermometer genügenden Aufschluss. Die in der Tabelle verzeichnete

Columnne „Temperatur der Luft“ bezieht sich auf die Angaben eines in unmittelbarer Nähe des Apparates aufgehängten Thermometers. Diese Zahlen ermöglichen die Reduction der Brechungsexponenten auf den leeren Raum. Hierdurch und durch den Umstand, dass der Temperaturwechsel auch auf den Brechungsexponenten des Glases einen kleinen Einfluss ausübt, erfährt das Maximum der Brechungsexponenten eine wenn auch nur geringe Verschiebung. Selbstverständlich sind die Thermometer in Bezug auf die Lage des Nullpunktes sorgfältig revidirt worden.

Versuchsreihe in der Nacht vom 1.—2. Februar 1888.

Zeit	Temp. der Luft	Temp. d. Wassers	Austrittswinkel <i>i</i>
11 ^h 10 ^m	+ 4,0°	+ 4,7°	65° 34,3'
11 30	+ 2,6	+ 4,0	— 34,0
11 50	+ 1,0	+ 2,8	— 33,6
12 —	— 0,8	+ 2,0	— 33,4
12 25	— 1,7	+ 1,0	— 33,2
12 46	— 1,7	— 0,1	— 33,1
1 10	— 2,6	— 1,2	— 33,0
1 27	— 5,2	— 2,3	— 33,0
1 50	— 5,6	— 3,4	— 33,3
2 17	— 6,5	— 4,4	— 33,5
2 53	— 7,6	— 5,7	— 33,9
3 12	— 7,7	— 6,1	— 34,0
3 33	— 9,0	— 6,8	— 34,4
3 51	— 9,0	— 7,2	— 34,6
4 18	— 9,2	— 8,0	65° 35,0
4 45	— 10,0	— 0,4	—

Wie aus der vorstehenden Tabelle hervorgeht, nimmt der Austrittswinkel *i* des Grenzstrahles zuerst ab und steigt dann wieder um 2'. Als ich zum letzten mal nachsah, war die Flüssigkeit unterdessen gefroren; es muss das Gefrieren bei ungefähr $-8,5^{\circ}$, und zwar einige Zeit vor dem Betreten des Raumes eingetreten sein, da das Thermometer bereits auf $-0,4^{\circ}$ stand und fortwährend fiel.

Die Grenzcurve war nun natürlich völlig verschwunden; als aber das Fernrohr um mehr als 5° gesenkt wurde, traten deutlich und mit sehr grosser Klarheit die dem ordentlichen und ausserordentlichen Strahle entsprechenden Grenzcurven des Eises hervor. Wir werden auf diese Dinge in dem zwei-

ten Theile der Arbeit zurückkommen, hier sind die gemessenen Austrittswinkel i und die nach der bekannten Formel berechneten Brechungsexponenten. Für das Prisma ist $N_D = 1,61511$.

	i	$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 i}$
Wasser (0°)	65° 33,1'	1,33411
Eis $\left\{ \begin{array}{l} e \uparrow \\ \downarrow \\ o \leftarrow \rightarrow \end{array} \right.$	70 46,0	1,31038
	71 5,0	1,30937

Für Wasser wurden die Beobachtungen noch oberhalb 4° fortgesetzt und schliesslich sämtliche Austrittswinkel i graphisch ausgeglichen. In der Zeichnung entsprechen $\frac{1}{10}''$ für t und $\frac{1}{10}'$ für i je 1 mm. Auf diese Weise sind die in der folgenden Tabelle aufgenommenen Werthe Δi erhalten.

Brechungsexponenten des Wassers
zwischen +10 und -10° C.

t°	Δi gegen 65° 33,0'	Brechungs- exponent n	t°	Δi	Brechungs- exponent n
+10°	+3,9'	1,33380	0°	+0,1'	1,33411
+ 9	+3,3	385	- 1	0,0	412
+ 8	+2,8	389	- 2	0,0	412
+ 7	+2,4	392	- 3	+0,15	410
+ 6	+1,9	396	- 4	+0,4	409
+ 5	+1,4	400	- 5	+0,6	407
+ 4	+1,0	404	- 6	+1,0	404
+ 3	+0,7	406	- 7	+1,4	400
+ 2	+0,4	409	- 8	+2,0	395
+ 1	+0,2	410	- 9	+2,7	390
0	+0,1	1,33411	-10	+3,4	1,33384

Die für -9° und -10° angegebenen Zahlen sind durch Extrapoliren erhalten, können aber auf $\frac{1}{10}''$ bis $\frac{2}{10}''$ richtig verbürgt werden. 1' Aenderung des Winkels i ändert den Brechungsexponenten um 8,2 Einheiten der 5. Decimale.

Hiernach liegt das Maximum des Brechungsexponenten bei ungefähr -1,5° C. Die Curve n in Fig. 6 ist augenscheinlich unsymmetrisch; auch ein Vergleich der Werthe Δi in obiger Tabelle für die correspondirenden Beobachtungen bei +5 und -8°, bei +7 und -10° lässt das erkennen. Für

die Temperaturen von 0 bis $+10^{\circ}$ hat Rühlmann einen schwächeren Abfall der Curve beobachtet, sodass im Vergleich mit dessen Beobachtungen die Unsymmetrie noch stärker hervortritt. Dem unsymmetrischen Verlauf der Dichtigkeitscurve zu beiden Seiten des Maximums entspricht somit ein ebensolcher für den Brechungsexponenten. Dass der absolute Werth des Brechungsexponenten für 0° geringe Unterschiede gegen Rühlmann und andere Beobachter zeigt, kommt natürlich hier nicht in Betracht.

II. Die Doppelbrechung des Eises.

Es existiren nur wenige Bestimmungen der beiden Hauptbrechungsexponenten des Eises. Reusch¹⁾ hat nach der bekannten Ablenkungsmethode an einem Eisprisma von 60° Messungen ausgeführt, die sich aber nur auf rothes, grünes und violettes Licht beziehen. Seine Zahlen dürfen im übrigen als recht genau angesehen werden; insbesondere passen die für rothes Licht erhaltenen Indices $n_o = 1,3060$ und $n_e = 1,3073$ in die Versuchsreihe weiter unten gut hinein. Weit weniger genau sind die Meyer'schen Zahlen²⁾, die sich aber auf Licht von bekannter Wellenlänge (Li, Na und Ti-Flamme) beziehen. Auch ist durch diese letzteren Versuche, welche Meyer mit dem Kohlrausch'schen Totalreflectometer ausgeführt hat, der Beweis erbracht, dass die Methode der Totalreflexion zum Studium der Doppelbrechung des Eises verwendet werden kann.

Es war mir deshalb nicht uninteressant, die Hauptbrechungsexponenten des Eises mit dem von mir construirten Totalreflectometer zu bestimmen. Der Apparat hat natürlich schnell und sicher auf die ihm vorgelegte Frage geantwortet. Ich könnte deshalb mit der Mittheilung der erhaltenen Werthe den Aufsatz beenden, halte es aber für angebracht, etwas näher auf die Sache einzugehen.

Diejenige Form der Objecte, welche sich am vortheilhaftesten zur Untersuchung mit dem Totalreflectometer eignet,

1) Reusch, Pogg. Ann. 121. p. 573. 1864.

2) Meyer, Wied. Ann. 31. p. 321. 1887.

ist die eines Cylinders mit polirter Grundfläche. Es wurden deshalb mittelst einer erwärmten Metallröhre von etwa 15 mm Durchmesser aus einer homogenen, 2 Finger dicken Eisplatte die Cylinder herausgeschnitten und die Politur der Planfläche auf einer über 0° erwärmten Glasscheibe erzeugt. Da die Temperatur des Zimmers weit unter dem Gefrierpunkte lag, so war es möglich, die Kante des Eiscylinders recht scharf zu erhalten. Vor dem Auflegen des Eispräparates auf den schwach brechbaren Glascylinder des Totalreflectometers ($N_D = 1,61292$) wurde die Eisfläche durch leichtes Anhauchen mit einer dünnen Wasserschicht überzogen und nun der Eiscylinder schnell aufgesetzt. Zuviel Wasser stört hier, wie früher, ungemein, da dasselbe seitwärts hervortritt und durch den sich bildenden Meniscus den streifenden Eintritt des Lichtes vereitelt. Nach wenigen Augenblicken war das Ganze zusammengefroren.

Vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet, hat natürlich die dünne Wasserschicht auf die Sichtbarkeit der beiden Grenzcurven des Eises keinen Einfluss. Denn sie spielt in Bezug auf Eis ($n > n_0$ und n_s) dieselbe Rolle, wie früher etwa Monobromnaphtalin für Gyps. Auch die Erscheinung ist ähnlich wie dort, indem mit der oberen, dem Wasser zugehörigen Grenzcurve das System von Interferenzstreifen beginnt, und tiefer unten die nahe zusammenliegenden Grenzcurven des Eises folgen. Praktisch ist aber die Sichtbarkeit des letzteren dadurch erschwert, dass die Interferenzstreifen parallel mit den Grenzen verlaufen und diese überdecken.

Vom Augenblick des Zusammenfrierens an tritt die Eisfläche mit dem Cylinder (vgl. unten) in directe Berührung; es waren deshalb dann nur die Grenzcurven des Eises sichtbar, diese selbst aber mit grosser Klarheit und Schärfe.

Zum besseren Verständniss des Folgenden sei es gestattet, einige Worte über das optische Verhalten einer Eisplatte den Resultaten, welche das Studium der Grenzcurven ergeben hat, vorzuschicken.

Bringt man in einem nicht zu engen Gefäss gut ausgekochtes Wasser zum Gefrieren, so zeigen besonders diejenigen Theile der Eisplatte, welche einigermaßen weit vom

Rande fortstehen, unter das Polarisationsmikroskop gebracht, das dunkle Kreuz mit den farbigen Ringen in der schönsten Regelmässigkeit. Eine 3—4 mm dicke Eisplatte liefert dieselbe Figur wie eine $\frac{1}{2}$ mm dicke Quarzplatte senkrecht zur Axe. Beide combinirt, ergeben eine Verengerung des Ring-systems und deshalb den übereinstimmenden Charakter der Doppelbrechung. Eis ist also positiv einaxig wie Quarz. Die optische Axe steht senkrecht zur Gefrierfläche.

Ich habe mich nun nicht darauf beschränkt, Eiscylinder herzustellen, deren Grundflächen senkrecht zur optischen Axe liegen, wie die natürliche Eisfläche selbst, sondern auch solche Flächen untersucht, die parallel oder geneigt zur optischen Axe verlaufen. In allen Fällen entsprach die Bewegung der oberen extraordinären Curve vollständig den Erscheinungen, wie sie früher¹⁾ für die gleich gelegenen Schiffe bei Quarz beobachtet wurden. Insbesondere zeigte die parallel der Axe polirte Fläche die bekannte Wanderung der oberen Curve zwischen den beiden Extremlagen und die zweimalige Vereinigung mit der unteren bei einer ganzen Umdrehung. Auch die Prüfung der Polarisationsverhältnisse der Grenzcurven mit vorgehaltenem Nicol lieferte für Eis und Quarz übereinstimmende Resultate.²⁾ — Es verdient noch hervorgehoben zu werden, dass die dünne Wasserschicht nach ihrem Festwerden sich auch in optischer Beziehung als integrierender Bestandtheil des Eiskrystalles erwiesen hat.

In der folgenden Tabelle sind die Brechungsindices des Glascylinders, die gemessenen Austrittswinkel i , die Hauptbrechungsindices des Eises n_o und n_e und deren Differenzen Δ zusammengestellt. Die letzteren Werthe Δ dürfen als constant angesehen werden. Für Quarz ist $\Delta = 0,00912$, woraus sich ergibt, dass die Doppelbrechung des Quarzes etwa siebenmal so gross ist, als die des Eises.

Für Li-, Na- und Tl-Licht wurde das ungeänderte Ocular benutzt, bei Anwendung von Sonnenlicht das Spectroskop eingeschoben. Im letzteren Falle habe ich die Strahlen der untergehenden Sonne verwerthet und auf diese Weise das

1) Pulfrich, l. c. I. Mitth. p. 206.

2) Hierüber vgl. die ergänzenden Bemerkungen weiter unten, p. 338.

Eisobject vor der Erwärmung geschützt. In den mond hellen Nächten des Januar wurde auch die Anwendung von Mondlicht versucht; indessen traten nur für die mittleren Theile des Spectrums die Fraunhofer'schen Linien deutlich hervor.

Die Hauptbrechungsexponenten des Eises.

Linie	N	i_e	i_o	n_e	n_o	Δ
A	—	—	—	(1,30626)	(1,30496)	—
a	—	—	—	(1,30710)	(1,30580)	—
B	1,60646	68° 54,5'	69° 12'	1,30775	1,30645	0,00130
Li	1,60731	69 5,0	69 23,0	1,30802	1,30669	133
C	1,60822	69 12,0	69 32,0	1,30861	1,30715	146
D	1,61292	70 7,0	70 25,0	1,31041	1,30911	130
Tl	1,61832	71 14,0	71 35,5	1,31242	1,31098	144
E	1,61919	71 25,0	71 45,5	1,31276	1,31140	136
F	1,62478	72 41,5	73 2,5	1,31473	1,31335	0,00138

Die Hauptbrechungsexponenten des Eises sind in Fig. 7 graphisch verzeichnet und zum Vergleich die Curve für Wasser beigegeben. Aus dem parallelen Verlauf der drei Curven geht schon hervor, dass Wasser und Eis keine grossen Unterschiede bezüglich der Dispersion haben können. Deutlicher tritt dies aus der folgenden Tabelle hervor. Die Zahlen in den Horizontalcolumnen (die Differenzen von n) sind offenbar identisch. Unter der Voraussetzung, dass dies auch für das Gebiet von A bis B zutrifft, sind die eingeklammerten Werthe n_o und n_e in der vorletzten Tabelle erhalten. —

Die Dispersion für Wasser und Eis.

Abstand	Wasser (19,5°) v. d. Willigen	Wasser (18,8°) Fraunhofer	E i s	
			o	e
$A - a$	0,00084	—	—	—
$a - B$	65	—	—	—
$B - C$	74	77	70	86
$C - D$	185	187	196	180
$D - E$	220	227	229	235
$E - F$	0,00193	197	195	197
$B - F$	0,00672	688	690	698

Die für D erhaltenen Zahlen n_o und n_e fallen mit den p. 332 angegebenen nahe zusammen. Wir kommen noch einmal auf jenen Versuch zurück.

Aus den Polarisationsverhältnissen der beiden n_0 und n_e entsprechenden Grenzen geht hervor, dass die erhaltene Eisfläche senkrecht zur optischen Axe sich befindet. Wir haben also hier das Resultat, das durch den plötzlichen Uebergang aus dem unterkühlten in den festen Zustand die horizontal liegende Fläche eine bestimmte Lage zur optischen Axe besitzt. Man kann nun nicht voraussetzen, dass die einzelnen Theilchen sich erst im Moment des Gefrierens in ihre Lage, die sie später im Krystall einnehmen, zurecht gefunden haben; unter dem Einfluss der Schwere muss dieser Uebergang sich langsam vorbereiten. Wenn aber diese, schon p. 328 berührte Ansicht die richtige ist, und man nicht die weitere Annahme hinzufügt, dass auch jedes Theilchen in seiner Gestalt eine auf den festen Zustand vorbereitende Aenderung erfährt, so wird jedenfalls der Zweifel berechtigt sein, ob bei bewegtem Wasser unterhalb 4° noch dieselben Dichtigkeitsverhältnisse vorwalten, wie bei ruhendem. Beide Annahmen einer Gestalts- und einer Lagenänderung eines jeden Theilchens gehören deshalb nothwendig zusammen.

Ob es möglich sein wird, auch bei anderen Flüssigkeiten als Wasser durch Unterkühlung ähnliche Resultate zu erzielen, oder ob dies nur bei Wasser infolge des Dichtigkeitsmaximums bei 4° der Fall ist, verdient offenbar eine besondere Untersuchung.

Anhang. — Ich habe in neuester Zeit die Polarisationsverhältnisse der Grenzcurven der Totalreflexion bei ein- und zweiachsigten Krystallen zum Gegenstand einer eingehenden Untersuchung gemacht, möchte mir aber die ausführliche Mittheilung dieser Studien für einen späteren Aufsatz vorbehalten. Im Anschluss an die obigen Eisversuche sei es gestattet, schon jetzt einige kurze und ergänzende Bemerkungen über diese Dinge einzuschieben.

Die Grenzcurven des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles sind im allgemeinen senkrecht zu einander polarisirt. In den früheren Tabellen und Zeichnungen¹⁾ habe ich dem

1) Vgl. C. Pulfrich, Wied. Ann. I. Mitth. 30. p. 205. Taf. II. Fig. 13 u. 14; II. Mitth. 30. p. 496. Taf. V. Fig. 9.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXIV.

ordinären und extraordinären Strahle einen vertical-, resp. horizontalgestellten Doppelpfeil beigefügt, um damit anzuzeigen, dass jedesmal dann, wenn die Grenze deutlich sichtbar war, der Hauptschnitt des vorgehaltenen Nicols senkrecht oder parallel zur Grenzcurve stand. Es ergab sich damals aus der Bewegung der oberen oder unteren Grenzcurve der positive oder negative Charakter der Doppelbrechung unmittelbar (Quarz, Kalkspath). Aber auch die Untersuchung mit Nicol gibt ein ausreichendes Mittel an die Hand, die Art der Doppelbrechung zu erkennen und selbst dann, wenn, wie es bei einer Fläche senkrecht zur Axe der Fall ist, die extraordinäre Curve ihre Lage nicht ändert. Es gilt allgemein:

Ist die Fläche des Krystalls	so steht der Nicol	
	für d. ord. Strahl	f. d. ausserord. Strahl
parallel zur Axe	\updownarrow	\leftrightarrow
senkrecht „ „	\leftrightarrow	\updownarrow

Bei einer Fläche parallel zur Axe ist also die \updownarrow Stellung, bei einer solchen senkrecht zur Axe die \leftrightarrow Stellung das Erkennungsmittel des ordentlichen Strahles. Für unsere durch Unterkühlung erhaltene Eisfläche (p. 331 u. 332) war umgekehrt der Charakter der Doppelbrechung bekannt; aus der Stellung des Nicols ergab sich dann die senkrechte Lage der Eisfläche zur optischen Axe.

Ungleich complicirter erscheinen auf den ersten Blick die Polarisationsverhältnisse bei Flächen, die unter einem Winkel geneigt zur optischen Axe stehen. Die beiden Curven bleiben auch hier im grossen und ganzen senkrecht zu einander polarisirt. Jedoch ändert im Gegensatz zu vorhin der Hauptschnitt des Nicols bei einer Drehung der Verticalaxe des Apparates stets seine Lage zur Grenzcurve, auch für den ordentlichen Strahl. In derjenigen Lage, in welcher die beiden Curven die grösste Annäherung haben, bleibt aber die \leftrightarrow Stellung des Nicols ein Merkzeichen des ordentlichen Strahles. Der Durchgang des Hauptschnittes durch die Ho-

horizontalstellung vollzieht sich für Flächen, die nahe parallel der optischen Axe sind, sehr rasch; und wenn schliesslich die Fläche genau parallel zur optischen Axe verläuft, kommt für den ganzen Verlauf der ordinären Curve die verticale Stellung des Hauptschnittes zur Geltung.

Die Untersuchung der Polarisationsverhältnisse wird mit dem Totalreflectometer in der Weise geführt, dass für eine Anzahl genau orientirter Schlitze ein- und zweiaxiger Krystalle die Polarisationsrichtung zur Grenzcurve mittelst eines vor dem Fernrohr aufgestellten und drehbaren Nicols bestimmt wird. Für einaxige Krystalle (die Beobachtungen beziehen sich vorzugsweise auf Quarz) ist es mir bereits gelungen, durch eine einfache geometrische Construction die oben besprochenen verwickelten Polarisationserscheinungen, deren allgemeine Behandlung vom Standpunkte der Theorie grosse Schwierigkeiten bietet, in übersichtlicher Form zur Anschauung zu bringen.

Die Grenzcurven der Totalreflexion bilden nämlich in ihrer Gesammtheit für beliebig gelegene Schlitze eines einaxigen Krystalles ein der Fresnel'schen Wellenfläche¹⁾ ähnliches Rotationsellipsoid für den extraordinären Strahl und eine ein- oder umbeschriebene Kugel für den ordinären. Die Radienvectoren der Kugel fallen in ihrer Richtung mit den zugehörigen in der Trennungsfläche sich bewegenden Strahlen zusammen; bei sehr schwacher Doppelbrechung kann das auch mit grosser Annäherung für den extraordinären Strahl angenommen werden. Legt man nun auf der Oberfläche der Kugel in Bezug auf die optische Axe ein System von Parallel- und Meridiankreisen fest, so stellt für jeden Ort und für jede Schnittfläche die Neigung der sich unter 90° kreuzenden Kreise zur Grenzcurve die dem zugehörigen Radiusvector (Strahl) entsprechende Polarisationsrichtung dar. An einem Modell lassen sich die oben durch Beobachtung abgeleiteten Erscheinungen ohne weiteres entwickeln. In Bezug auf die optische Axe des Krystalles bleiben also die Polarisationsrichtungen constant, nur die Grenzcurve ist es, welche

1) Verdet-Exner, *Optik*. 1. p. 432.

ihre Lage zum Hauptschnitt ändert. Für den Strahl, welcher sich parallel der Axe des Krystalls bewegt, bleibt bekanntlich die Lage der Polarisationsrichtung unbestimmt. Die in Anwendung gebrachte Construction gibt auch hierüber Aufschluss.

Wenn man bedenkt, in welch' einfacher und für alle möglichen Fälle gültiger Weise die Untersuchung der Grenzcurven das bekannte Gesetz verificirt haben, dass die Polarisations Ebenen des ordentlich und ausserordentlich gebrochenen Strahles nahezu senkrecht zu einander stehen, so wird man nicht zweifeln, dass die Untersuchung zweiaxiger Krystalle zu ähnlichen einfachen Ergebnissen führen wird. Dass das Totalreflectometer in einer so fruchtbringenden Weise auch nach dieser Richtung hin sich erwiesen hat, ist mehr, als ich anfangs zu hoffen gewagt habe. Einiges Bedenken verursacht mir noch die im Prisma des Fernrohrs erlittene Spiegelung der Lichtstrahlen, und ob es nicht angebracht sein wird, sofern es sich um genaue Messungen bei stark doppelbrechenden Krystallen handelt, das Prisma aus dem Fernrohr zu entfernen oder aber dem Kohlrausch'schen Verfahren den Vorzug zu geben.

Bonn, im Februar 1888.

VII. *Ueber den Pleochroismus pflanzlicher Zellmembranen; von H. Ambronn,*

Privatdocent der Botanik zu Leipzig.

Die pflanzlichen Zellmembranen verhalten sich bekanntlich wie optisch anisotrope Körper. Worauf diese Anisotropie beruht, ist noch nicht sicher festgestellt; während nach der einen Theorie die sogenannten Micelle selbst doppelbrechend sein sollen, wird von anderen nicht die Structur dieser Molecülgruppen, sondern vielmehr ihre gesetzmässige Anordnung als Ursache der Doppelbrechung angesehen.¹⁾

1) Als wichtigste Literatur über diese Frage vgl. Nägeli, Botan. Mittheilungen. 1. p. 183. Aus den Mitth. der k. bayr. Acad. der

Für meine Untersuchungen über den Pleochroismus der Zellmembranen, über welche im Nachstehenden ein kurzes Referat gegeben werden soll, ist es vorerst gleichgültig, wie die Doppelbrechung zu Stande kommt; es genügt hierfür die Thatsache, dass die Membranen doppelbrechende Eigenschaften besitzen.

Es ist bekannt, dass anisotrope Krystalle, wenn sie auf eine bestimmte Weise gefärbt sind, die Erscheinung des Pleochroismus zeigen; es lag deshalb die Vermuthung nahe, dass unter ähnlichen Umständen auch Zellmembranen als pleochroitisch sich erweisen würden. Allerdings kennt man nur verhältnissmässig wenige Fälle, in denen bereits in der Natur eine Färbung von Zellmembranen vorliegt, doch gibt es eine ganze Reihe von Färbungsmethoden, die besonders in den letzten Jahren bedeutend vermehrt und vervollkommenet worden sind. Man konnte erwarten, dass viele dieser künstlichen Färbungen sich optisch ähnlich wie die in der Natur vorkommenden verhalten würden.

Auch farblose Krystalle kann man, wie schon mehrfach nachgewiesen wurde, auf künstlichem Wege färben und sie somit zu pleochroitischen Körpern machen.¹⁾

Dass auch isotrope Gebilde durch Spannungen pleo-

Wiss. Sitzung vom 8. März 1862. — N. J. C. Müller, Handb. d. Botan. 1. 1880. — V. v. Ebner, Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organischer Substanzen. Leipzig 1882. — A. Zimmermann, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 2. p. XLVII. 1883. — Schwendener, Berl. Monatsber. 1887. p. 659.

1) Bereits Sénarmont (Pogg. Ann. 91. p. 491. 1854) hat gezeigt, dass Krystalle von salpetersaurem Strontium, welche aus einer mit Campecheholzextract gefärbten Lösung auskrystallisirten, einen ziemlich starken Pleochroismus besitzen. Neuerdings gelang es Kny (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 5. p. 387. 1887), gefärbte Krystalle von Calciumoxalat zu erhalten. Ich habe die Versuche Kny's wiederholt, soweit sie sich auf die Färbung mit Eosin beziehen, und konnte an den schön roth gefärbten Krystallen deutlich, wenn auch schwachen Pleochroismus constatiren. Gelegentlich finden sich auch gefärbte Krystalle von Calciumoxalat in der lebenden Pflanze vor, und diese zeigen dann gleichfalls Pleochroismus (vgl. Zimmermann, die Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle, Breslau 1887. p. 102).

chroitisch werden, hat zuerst Kundt¹⁾ gezeigt, indem er an gespannten Kautschuk- oder Guttaperchastreifen „temporären“ Dichroismus beobachten konnte. Es mag hierbei erwähnt werden, dass man diesen temporären Dichroismus auch bleibend machen kann, wenn statt der Guttapercha Gelatine verwendet wird. Ich habe bei meinen Untersuchungen die käufliche rothe Gelatine, die wahrscheinlich mit Fuchsin gefärbt ist, benutzt. Unterwirft man einen in Wasser aufgequollenen Streifen solcher Gelatine einer starken Dehnung, so wird er deutlich pleochroitisch; lässt man denselben im gespannten Zustande austrocknen, so bleibt diese Eigenschaft erhalten. Allerdings ist die Differenz der Absorption eine geringe, indem sich die Farbenverschiedenheit nur auf eine Aenderung von Blassroth in ein dunkleres Roth beschränkt. Der hellste Farbenton tritt dabei immer in der Richtung, in welcher der Streifen gedehnt wurde, die stärkste Absorption senkrecht dazu ein. Wie nun an solchen gespannten Gelatinestreifen stets ein Zusammenfallen der Axenrichtungen des optischen Elasticitätsellipsoids mit der verschiedenen Absorption auftritt, so lässt sich auch ein ähnliches Verhalten an den pflanzlichen Membranen nachweisen. Die Orientirung des optischen Elasticitätsellipsoids in Zellwänden lässt sich leicht mit Hülfe eines Gypsplättchens feststellen, und man ist deshalb im Stande, in jedem einzelnen Falle jene Uebereinstimmung bequem zu controliren. In allen bisher von mir untersuchten Membranen war eine solche Uebereinstimmung in der Weise vorhanden, dass die Maximalabsorption in der Richtung der kleineren, die geringste Absorption in der Richtung der grösseren Axe der wirksamen Elasticitätsellipse erfolgte.

Färbt man eine beliebige Pflanzenfaser z. B. mit Eosin, so werden die Wandungen deutlich pleochroitisch, und zwar kann man diesen Pleochroismus ebensowohl an Längsschnitten in der Profil- und Flächenansicht als auch auf Querschnitten beobachten, da das optische Elasticitätsellipsoid ein dreiaxiges, dessen kleinste Axe in der Regel normal zur Fläche

1) Kundt, Pogg. Ann. Jubelb. p. 622. 1874.

der Wandung orientirt ist. Aehnliche Resultate erhält man mit einer grossen Anzahl von Farbstoffen, besonders aus der Gruppe der Anilinfarbstoffe; ja man kann die Fasern irgend eines beliebig gefärbten baumwollenen oder leinenen Zeugs, nachdem sie mit Wasser imbibirt sind, untersuchen, und man wird in den meisten Fällen einen deutlichen Pleochroismus beobachten können.

Besonderes Interesse bieten in dieser Hinsicht die von Kundt aufgeführten Farbstoffe, denen eine anomale Dispersion zukommt, doch muss ich hier darauf verzichten, einzelne Beispiele anzuführen, da meine Untersuchungen in dieser Hinsicht noch nicht abgeschlossen sind. Nur darauf möchte ich aufmerksam machen, dass sich unter jenen Stoffen auch Lösungen von Jod finden, dessen eigenthümliche Wirkung auf die Zellmembranen nachher ausführlicher besprochen werden soll.

Es dürfte nicht überflüssig sein, an dieser Stelle einige Worte über die Methode der Untersuchung zu sagen. Da man es stets mit mikroskopischen Objecten zu thun hat, so ist es am geeignetsten, nach der von Tschermak vorgeschlagenen Methode zu verfahren, indem man den Polarisator einschaltet und den Objecttisch dreht. Bequemer ist es allerdings in vielen Fällen, das obere Nicol zu benutzen, doch bringt dies, wenn man keine depolarisirende Schicht einfügt, manche Ungenauigkeiten mit sich, da bekanntlich das vom Spiegel des Mikroskops reflectirte Licht aus verschiedenen Gründen schon theilweise polarisirt ist. Für manche Objecte ist es sehr wünschenswerth, beide verschieden gefärbte Bilder direct nebeneinander betrachten und so auch geringe Aenderungen in der Farbennüance noch constatiren zu können. Ich habe zu diesem Zwecke eine Combination der Haidinger'schen Lupe mit einem gewöhnlichen Mikroskopocular angewandt. Das Kalkspathrhomboëder mit den die Endflächen bedeckenden Glaskeilen wurde dabei zwischen die Blendung und die Ocularlinse eingefügt und auf die erstere ein Diaphragma mit quadratischer Oeffnung gelegt. Ausserdem war noch eine Einrichtung getroffen, die ein bequemes Einschalten von Gypsplättchen ermöglichte. Mittelst dieses

„Dichroskopoculars“ ist man im Stande, auch die geringsten Farbenänderungen noch deutlich zu erkennen.

Abweichend von der oben charakterisirten Gruppe von Färbungen verhalten sich einige andere, von denen ich als Beispiel diejenige mit Berliner Blau hier besprechen will. Ruft man an Zellmembranen diese Färbung dadurch hervor¹⁾, dass man die Bildung des blauen Niederschlags in der Membran selbst stattfinden lässt, so zeigt sich an solchen intensiv blau gefärbten Zellwänden keine Spur von Pleochroismus. Worauf dies beruht, lässt sich mit Sicherheit noch nicht angeben, doch erscheint mir die Annahme nicht unberechtigt, dass hier infolge Einlagerung eines festen amorphen Niederschlags in die Membran eine pleochroitische Wirkung unterbleibt; es würden sich dann die auf solche Weise gefärbten Membranen ähnlich wie die sogenannten allochromatischen Krystalle verhalten.

Die interessantesten Erscheinungen zeigen sich bei einer dritten Gruppe von Färbungen, nämlich bei denen, die durch Jodpräparate hervorgerufen werden. Es ist bekannt, dass nicht bloß die Stärkekörner, sondern auch viele Zellmembranen, letztere allerdings nur unter gewissen Bedingungen, sich mit Jod intensiv blau oder violett färben, dass hingegen andere Membranen, zu denen die sogenannten verholzten und cubicularisirten gehören, bei Behandlung mit Jod gelb oder braun werden. Merkwürdig ist es nun, dass sich diese beiden Färbungen hinsichtlich der verschiedenen Absorption des Lichtes in einem sehr wesentlichen Punkte unterscheiden. Während nämlich die gelb oder braun gefärbten Zellwände einen kaum bemerkbaren Pleochroismus besitzen, sind die blau oder violett gefärbten in ihrer optischen Wirkung mit Turmalin oder Herapathitplatten oder auch mit einem Nicol'schen Prisma zu vergleichen. Sie absorbiren nämlich den einen Strahl schon in sehr dünnen Schichten vollständig und lassen den anderen fast ungeschwächt hindurch. Als sehr geeignetes Object für die Beobachtung dieser Erscheinung möchte ich hier die dünnen schraubenlinigen Verdickungsbänder

1) Durch abwechselndes Eintauchen der Fasern in Lösungen von Eisenchlorid und Ferrocyankalium.

aus den sogenannten Spiralgefäßen anführen. Man erhält dieselben am einfachsten auf folgende Weise: Man zerreisst irgend ein junges Blatt, und wird dabei häufig bemerken, dass an den Trennungsstellen spinnwebartige Fäden mit herausgerissen werden; diese Fäden sind jene leicht abrollbaren Schraubenbänder, die in der Regel eine Dicke von nur wenigen Mikromillimetern haben.¹⁾ Bringt man diese Fäden in einen Tropfen frischer Chlorzinkjodlösung, so zeigen sie bald, im natürlichen Lichte betrachtet, eine dunkelblaugraue Färbung. Beobachtet man sie hingegen im polarisirten Lichte, so erscheinen sie, wenn die Schwingungsebene des Nicols mit der Längsrichtung zusammenfällt, fast farblos, nach einer Drehung um 90° dagegen vollkommen schwarz. Dass derartige Membranen in der That wie eine Turmalinplatte oder wie ein Nicol'sches Prisma wirken, lässt sich auf verschiedene Weise zeigen. Schaltet man zwischen Object und Nicol ein Gypsplättchen, z. B. Roth I. Ordnung, in der Diagonalstellung ein, so müssen, wenn die Membran gleichfalls als Nicol wirkt, die gefärbten Partien die Farben des Gypsplättchens zeigen, also bei rechtwinkliger Kreuzung der Schwingungsebenen Roth I. Ordnung, bei Drehung des Präparates um 90° ein helles Grün. Die Beobachtung bestätigt dies sofort. Bei Benutzung des oben beschriebenen Dichroskopoculars kann man beide Bilder direct nebeneinander sehen, und es empfiehlt sich dabei die Anwendung eines Gypsplättchens Roth II. oder III. Ordnung, weil diese als Complementärfarbe ein leuchtendes Grün zeigen; man sieht dann die Membran bei entsprechender Stellung in dem einen Bilde lebhaft roth, in dem anderen schön grün gefärbt. Ein ähnlicher Versuch lässt sich in folgender Weise ausführen. Bringt man zwischen zwei gekreuzte Nicols ein Gypsplättchen in der Diagonalstellung und darüber ein drittes Nicol, so zeigt sich bei einer gewissen Stellung des letzteren, nämlich wenn seine Schwingungsebene mit der des oberen Nicols übereinstimmt, die Interferenzfarbe des Gypsplättchens, also

1) Bei meinen Untersuchungen benutzte ich gewöhnlich solche Fäden aus dem Blatte einer *Agave americana*. Die Dicke derselben schwankte zwischen 0,002 und 0,004 mm.

z. B. Roth I; dreht man es aus dieser Lage heraus um 90° , sodass jetzt seine Schwingungsebene mit der des unteren Nicols übereinstimmt, so wird das Gesichtsfeld natürlich schwarz. Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man statt des Nicols eine mit Jod gefärbte Membran über dem Gypsplättchen dreht; in einer Stellung zeigt sie die Farbe dieser Krystallplatte, nach einer Drehung um 90° erscheint sie vollkommen schwarz.

Würde man pflanzliche Zellmembranen in der Weise präpariren können, dass sie bei grösserer Flächenausdehnung eine überall gleichmässige, im Laufe der Zeit sich nicht verändernde Färbung zeigten, so wären dieselben geradezu als Ersatz für Nicol'sche Prismen, ähnlich wie Herapathitplatten zu verwenden. Allein die Herstellung derartiger Präparate stösst auf unüberwindliche Schwierigkeiten, sodass ein praktischer Nutzen aus dieser merkwürdigen Eigenschaft der vegetabilischen Membranen nicht erwächst.

Es stimmt übrigens dieses Verhalten der gefärbten Membranen mit der optischen Wirkung des krystallinischen Jods selbst überein. Gewöhnliche Jodkrystalle sind bekanntlich vollkommen undurchsichtig, doch hat schon Sirks¹⁾ in einer kleinen Notiz, als Anhang zu einer Abhandlung über das Selen, mitgetheilt, dass Jod in sehr dünnen Krystallplatten starken Dichroismus besitze und sich ganz wie eine Turmalinplatte verhalte. Man kann sich derartige Krystalle leicht dadurch herstellen, dass man eine gesättigte Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff zwischen zwei fest aufeinander gepressten Glasscheiben auskrystallisiren lässt. Die sich bildenden Krystalle werden hierbei erst dann genügend durchsichtig, wenn sie an Stellen auftreten, die ungefähr Farben zwischen Roth II. und Roth III. Ordnung zeigen. Noch schöner tritt die Verschiedenheit der Absorption in Krystallen hervor, die in der Nähe von Roth I entstehen. An diesen findet man fast ganz genau dieselben Verhältnisse wie bei jenen pflanzlichen Membranen. In der einen Richtung sind sie nahezu farblos, bei einer Drehung um 90° erscheinen sie voll-

1) Sirks, Pogg. Ann. 143. p. 439. 1871.

kommen schwarz. Im natürlichen Lichte betrachtet, zeigen sie eine ähnliche Mischfarbe wie die Membranen.

Diese merkwürdige Uebereinstimmung der mit Jod gefärbten Membranen und des krystallinischen Jodes legt die Vermuthung nahe, dass das Jod in jenen Membranen in Form kleiner Krystalle entweder als metallisches Jod oder als eine etwa dem Herapathit (schwefelsaures Jodchinin) optisch ähnlich wirkende Verbindung vorhanden ist. Das gänzlich abweichende Verhalten der gelb oder braun gefärbten Membranen würde dann vielleicht auf die Einlagerung des Jodes in gelöster Form zurückzuführen sein.

Alle jene Kryställchen müssten dann nicht bloß untereinander gleichsinnig, sondern auch parallel mit den optischen Elasticitätsaxen der Membran orientirt sein. Würde sich diese Annahme als berechtigt erweisen, was die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein soll, so wäre damit die vielbehandelte Frage nach der Ursache der Färbungen durch Jod ihrer Lösung näher gerückt, und es dürfte nicht unwahrscheinlich sein, dass hierdurch auch interessante Aufschlüsse über die feinere Structur der Membranen selbst erlangt werden können.

VIII. *Ueber Reflexion des Lichtes im Inneren des Auges und einen neuen Versuch zur Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel;*
von Robert Geigel.

(Hierzu Taf. II Fig. 8–13.)

Dass von dem in das Auge eingedrungenen Lichte ein gewisser Theil die Netzhaut nicht erreicht, sondern vorher von den brechenden Flächen des Auges zurückgeworfen wird, ist bekannt; die direct wahrnehmbaren Producte des reflectirten Lichtes sind die Purkinje'schen Bildchen.

Dass aber von diesem reflectirten Lichte wieder ein Theil zum zweiten Male reflectirt werden und solchergestalt auf Umwegen dennoch zur Netzhaut gelangen und dort sogar

wahrnehmbar werden kann, ist meines Wissens noch nicht festgestellt worden.

Unbestreitbar ist eine solche zweite Reflexion nicht nur möglich, sondern sogar einfach nothwendig; ob aber das wieder gegen die Netzhaut reflectirte Licht dort sich geltend zu machen im Stande ist, möchte ich im Folgenden erörtern.

Im Auge reflectirtes Licht kann auf dreierlei Art zur Netzhaut gelangen. Die eingedrungenen Strahlen können nämlich reflectirt werden:

- 1) von der vorderen Linsenfläche und der Hornhaut,
- 2) von der hinteren Linsenfläche und der Hornhaut,
- 3) von der hinteren und vorderen Linsenfläche.

In allen drei Fällen wird parallel der Axe einfallendes Licht auf der Netzhaut Zerstreuungskreise erzeugen.

Es liegt die Frage nahe: Wie müssten in jedem der drei Fälle Lichtstrahlen ins Auge eintreten, wenn nicht ihr direct zur Netzhaut gelangter, sondern der reflectirte Theil dort zum Bilde vereinigt werden sollte? oder: wo müsste ein leuchtender Punkt sein, dessen Strahlen nach zweimaliger Reflexion auf der Netzhaut ein Bild des leuchtenden Punktes gäben?

Die Antwort ist auf folgende Weise nicht schwierig zu geben: Der parallel der Axe einfallende Strahl LA (Fig. 8) gehört zu einem Strahlenbündel, dessen Strahlen schliesslich auf der Netzhaut und in der Axe vereinigt werden, die aber nach der ersten Brechung nach einem Punkte V_0 convergiren. Der Strahl $QDCAB$ ist aber zuletzt in seiner Richtung und Lage identisch mit dem zuerst bei A eingetretenen Strahle und gelangt also zu demselben Punkte der Netzhaut, wie dieser. SV_0 lässt sich aus den optischen Constanten des Auges berechnen, sobald man dem Bogen SA eine bestimmte Grösse gibt, und dann gelangt man auf trigonometrischem Wege durch leichte, jedoch ziemlich langwierige Rechnung zur Lage der Punkte V_1 , V_2 und V_3 . Ein Strahl QD , der nach V_3 zielt, gelangt also schliesslich ebendahin, wie der parallel zur Axe bei A einfallende Strahl. Da ein homocentrisches Strahlenbüschel, wie man ebenfalls leicht rechnen kann, bei Refraction und Reflexion nahezu homocentrisch

bleibt, so werden alle Strahlen eines nach V_3 convergirenden Büschels nach zweimaliger Reflexion an der vorderen Linsenfläche und der Hornhaut im Axenpunkte der Netzhaut vereinigt.

Ganz ähnlich findet man, dass (Fig. 9) alle von V_5 ausgehenden Strahlen, wenn sie an der hinteren Linsenfläche und an der Hornhaut reflectirt werden, im Axenpunkte der Netzhaut nahezu zur Vereinigung kommen, und ebenso (Fig. 10) alle nach V_5 convergirenden Strahlen, nachdem sie an der hinteren und vorderen Linsenfläche reflectirt sind.

Ich fand als (abgerundete) Werthe für SV_3 (Fig. 8) 3 mm, für V_5S (Fig. 9) $3\frac{1}{2}$ mm, für SV_5 (Fig. 10) 6 mm, unter Zugrundelegung der von Listing gegebenen Werthe für die optischen Constanten des Auges.

Eine genauere Berechnung, insbesondere über die Abweichung von der Homocentricität nach jeder Reflexion ist nicht schwierig, aber überflüssig, da schliesslich beim praktischen Versuche vorsichtiges Probiren sicherer zum Ziele führt, als die exacteste Rechnung.

Man kann sich nämlich Strahlenbüschel, die der Bedingung, nach einem bestimmten Punkte der Axe zu convergiren, genügen, durch Anwendung von Linsen herstellen, die so vor das Auge gehalten werden, dass ihr Brennpunkt mit dem Punkte V_3 (Fig. 8), resp. V_5 (Fig. 9) oder V_5 (Fig. 10) zusammenfällt, durch welche Linse man dann ein paralleles Strahlenbüschel eintreten lässt. Ein von der Linse in ihrem Brennpunkte erzeugtes Bildchen der Lichtquelle muss dann in allen drei Fällen auf der Netzhaut erscheinen. Ob das Netzhautbild dabei vergrössert oder verkleinert, verkehrt oder aufrecht erscheint, darüber orientirt man sich leicht durch Zeichnung, wie sie die Gesetze der Reflexion in Convex- und Concavspiegeln vorschreiben.

Es zeigt sich, dass von dem im Brennpunkte der angewendeten Linse erzeugten Bildchen auf der Netzhaut im ersten Falle ein nahezu gleich grosses verkehrtes, im zweiten Falle ein stark verkleinertes aufrechtes, im dritten Falle ein stark vergrössertes verkehrtes Bild entsteht. Die erste Bedingung für das Sichtbarwerden eines solchen Bildchens ist die, dass es durch seitliche Verschiebung von dem direct

zur Netzhaut gelangten Lichte, das dort als Zerstreuungskreis auftritt und viel intensiver ist, getrennt werden kann. Das wird sich in den beiden ersten Fällen nicht leicht oder gar nicht erreichen lassen.

Im ersten Falle muss der einfallende Strahlenkegel, um an der vorderen Linsenfläche reflectirt werden zu können, wenigstens noch die Pupillenöffnung treffen, und zwar darf er diese nicht sehr schief treffen, weil sonst die von der Hornhaut wieder zurückgeworfenen Strahlen nicht mehr durch die Pupillenöffnung gelangen.

Im zweiten Falle müssen sowohl die eindringenden Strahlen, als die an der hinteren Linsenfläche reflectirten, und diese sogar noch ein drittes Mal durch die Pupille. Die Axe des einfallenden Strahlenbüschels darf sich also von der Augenaxe nicht weit entfernen. Ausserdem wird das ohnehin schon sehr kleine Bildchen, das in V_5 entworfen ist, nochmals stark verkleinert.

Der dritte Fall ist günstiger gelagert. Ein einmal durch die Pupillenöffnung gegangenes Strahlenbüschel braucht diese nicht mehr zu passiren, ja überhaupt gar nicht mehr zu treffen, es kann auch seitlich derselben an der vorderen Linsenfläche reflectirt werden; da das Netzhautbildchen in diesem Falle verkehrt ist, so wird es, je weiter nach links z. B. das direct eingedrungene Licht durch schiefe Incidenz gerückt wird, desto weiter nach rechts gehen, es ist ausserdem grösser als das Original, und es war also Aussicht vorhanden, es aufzufinden.

Das war nun aber nicht allzu leicht. Ich nahm Linsen von kurzer Brennweite und brachte sie so vor das Auge, dass der Brennpunkt schätzungsweise mit V_5 der Fig. 10 zusammenfiel, und blickte gegen die Flamme einer Kerze oder Lampe. Nach zahllosen Versuchen und oftmals getäuscht durch andere dabei auftretende Bilder bin ich jetzt sicher, das zweimal reflectirte Bild gesehen zu haben und kann es mir jederzeit wieder herstellen. Von den Täuschungen, denen man dabei ausgesetzt ist, erwähne ich die wichtigsten. Ungeheim häufig, insbesondere wenn das Auge durch langes Suchen ermüdet ist, trifft man plötzlich auf ein helles, scharf begrenz-

tes Bild der Kerzenflamme, das ungemein beweglich über das Gesichtsfeld flackert, nur bei ganz bestimmter Annäherung der Linse scharf ist, bei jeder weiteren Annäherung oder Entfernung derselben jedoch das Aussehen eines beleuchteten Wassertröpfchens annimmt. Es rührt auch in der That von nichts anderem her und ist dadurch leicht kenntlich, dass energisches Blinzeln seinen Platz verrückt oder es ganz entfernt.

Dann erschienen mir, beim Gebrauche einer biconvexen Linse, Bilder, die ganz den Erwartungen zu entsprechen schienen; sie waren schwächer, bedeutend grösser als das Original und erschienen verkehrt. Indessen gelang es nicht, sie aus der Peripherie der gebrauchten Linse herauszubringen; es sind eben Bilder, die durch Spiegelung in der Hornhaut nach der gebrauchten Linse hin und von da wieder zurück, entstehen. Sie sind dadurch kenntlich, dass sie an der Peripherie der Glaslinse abbrechen, oder wenn man zwischen Auge und Linse ein undurchsichtiges Blatt einschiebt, von diesem theilweise verdeckt werden.

Endlich glückte es mir, auch das richtige Bild wahrzunehmen. Aus dem Ocular eines terrestrischen Fernrohrs entfernte ich alle Linsen bis auf eine convex-concave, deren Brennweite auf der concaven Seite etwa 10 mm ist; dieselbe ist in ein kurzes Rohr gefasst, in welchem ein Diaphragma von etwa 2 mm Durchmesser sich befindet. Mit diesem, welches ich also etwa 4 mm vor das Auge halte, blicke ich aus einer Entfernung von nicht unter sechs Schritten gegen die Flamme einer Lampe, sodass das Licht von oben oder seitwärts ins Auge eindringt. Durch Probiren findet man dann ein freilich sehr lichtschwaches und nicht scharf begrenztes Bild der Flamme, das allen Anforderungen entspricht. Es ist grösser als das von der Linse entworfene Bildchen, erscheint verkehrt, denn das von der Linse erzeugte ist umgekehrt; dies wird, wie oben erwähnt, nochmals umgekehrt, also aufrecht, das Auge nimmt es also umgekehrt wahr. Lässt man das Licht sehr schief einfallen, so gelingt es, das Bildchen weit über die Peripherie der Glaslinse herauszubringen, ja dasselbe auf die Wände oder den Boden des Zimmers scheinbar zu projeciren. Dass das Bildchen nicht scharf ist,

kann nicht auffallen, da bei jeder Reflexion die Homocentricität gestört wird, und weil man wegen der nothwendigen schiefen Incidenz des Lichtes gezwungen ist, auf den centralen Theil der Strahlen zu verzichten und grösstentheils Randstrahlen zu verwenden.

Das oben erwähnte Diaphragma spielt eine wichtige Rolle.

Während nämlich beim reflectirten Lichte alle Strahlen, die von einem Punkte der Lichtquelle ausgehen, wieder in einem Punkte des Bildes (wenigstens nahezu) vereinigt werden, wird beim direct hindurchgegangenen Lichte jeder Punkt des von ihm bewirkten Zerstreuungskreises von je einem Strahle jedes Punktes des Objectes getroffen. Verkleinert man also das Object, so wird dadurch die Helligkeit des reflectirten Bildchens nicht beeinflusst, während die des Zerstreuungskreises verringert wird, wodurch man verhindert, dass er das Auge blendet und das lichtschwache Bildchen nicht wahrnehmen lässt. Statt der Benutzung des Diaphragmas empfiehlt sich daher auch die Benutzung einer sehr entfernten kleinen Lichtquelle, etwa einer entfernten Gaslaterne oder in sternheller Nacht des Jupiters.

Anders wird die Sache, wenn nicht das reflectirte Licht, sondern, was beim gewöhnlichen Gebrauche des Auges stattfindet, das direct hindurchgegangene Licht auf der Netzhaut zur Vereinigung kommt, während das reflectirte einen Zerstreuungskreis bildet. Es fragt sich, ob auch dann das letztere wahrnehmbar gemacht werden kann.

Zuerst wird es nothwendig sein, sich über das Intensitätsverhältniss des direct hindurchgegangenen und reflectirten Lichtes Anhaltspunkte zu verschaffen.

Um einen Ausgangspunkt für die Rechnung zu haben, berechnete ich das Intensitätsverhältniss zwischen dem direct hindurchgegangenen und reflectirten Theile eines einzelnen Strahles und wählte, so ziemlich aus keinen anderen als Bequemlichkeitsrücksichten, einen solchen, der, nachdem er die Hornhaut durchdrungen, parallel der Augenaxe in die Linse eintritt, und zwar 9° seitwärts der Axe, somit mit einem Einfallswinkel von ebenfalls 9° (Fig. 11). Ich fand als Werthe für die Einfalls- und Brechungswinkel:

$$i_1 = 15^\circ 22' 44'', \quad r_1 = 16^\circ 45' 39'',$$

$$i_2 = 26^\circ 13' 33'', \quad r_2 = 28^\circ 48' 11'',$$

$$i_3 = 1^\circ 30' 43'', \quad r_3 = 1^\circ 38' 38''.$$

Hieraus berechnet sich, wenn man die Intensität des directen Strahles $BX = 1$ setzt, nach der Fresnel'schen Formel für die Intensität des reflectirten Lichtes:

$$J^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(i - r)}{\sin^2(i + r)} + \frac{\operatorname{tg}^2(i - r)}{\operatorname{tg}^2(i + r)} \right]$$

als Verhältniss der Intensität des Strahles BX zu der des Strahles DY (abgerundet): 1:0,000 005.

Dieses an und für sich schon recht ungünstige Verhältniss wird noch schlimmer für Strahlen, die der Axe noch näher liegen, günstiger für weiter aussen liegende und auch theilweise für schief eintretende Strahlen. Nehmen wir indessen einmal als Durchschnittswerth das oben gefundene Verhältniss an. Jedenfalls ist Licht, das fünfmillionen mal schwächer ist als das directe, nicht mehr wahrnehmbar. Allein man bedenke folgendes:

Ist das Auge für eine Lichtquelle richtig accomodirt, so kommen in einem bestimmten Punkte der Netzhaut zur Vereinigung alle Strahlen, die von einem bestimmten Punkte des Objectes ausgehen. Jeder Punkt des Objectes verursacht aber vermöge des reflectirten Theiles des von ihm ausgehenden Lichtes auf der Netzhaut einen Zerstreungskreis, so dass also der vorhin betrachtete Punkt derselben ausserdem noch getroffen wird von je einem Strahle eines jeden Punktes der Lichtquelle. Ist das der Fall, so wird, wenn wir ein Object von constanter Helligkeit und Grösse annehmen, in jedem Punkte der Netzhaut das Verhältniss der Stärke des directen zu der des reflectirten Lichtes ebenfalls bestimmt sein 1:x, wobei x im allgemeinen nicht = 0,000 005 ist, sondern nur dann, wenn dort ebensovielen reflectirte als directe Strahlen zusammentreffen. Es werde jetzt das Object ohne Aenderung seiner Helligkeit vergrößert, etwa 100 mal. Von directem Lichte treffen nicht mehr und nicht hellere Strahlen wie vorher besagten Netzhautpunkt, wohl aber wird derselbe von 100 mal mehr reflectirten Strahlen getroffen, und

das Verhältniss beider Intensitäten wird nun $1:100.x$. Daraus folgt unmittelbar, dass bei genügender Vergrösserung der Lichtquelle das Verhältniss für das reflectirte Licht so günstig werden kann, dass letzteres wahrnehmbar wird.

Genauerer gibt folgende Betrachtung:

In Fig. 12 sei aa die Pupillenöffnung. Alle von einem leuchtenden Punkte l , der in der Axe liegt, ausgehenden Strahlen kommen einerseits im Punkte c der Netzhaut zur Vereinigung, andererseits möge der reflectirte Theil derselben den Zerstreuungskreis bb erzeugen.

Abgesehen von der Intensität der beiden Strahlenarten, ist dann die Dichtigkeit der Strahlen in c dargestellt durch die Grösse des Kreises aa , während sie im Zerstreuungskreise aa/bb ist. Wäre nun statt des leuchtenden Punktes ein leuchtender Kreis dd , welcher $= bb$ ist, vorhanden, so würde die Dichtigkeit der Strahlen im Zerstreuungskreise $(aa/bb).dd = aa$ sein, also ebenso gross, wie in c , und jetzt wäre die relative Helligkeit in demselben bloss noch abhängig vom Intensitätsverhältnisse eines directen zum reflectirten Strahle. Unter Beibehaltung des oben angenommenen Durchschnittsverhältnisses würde sich jetzt die Intensität des vereinigten zu dem des reflectirten Lichtes verhalten wie $1:0,000\,005$. Wäre aber der Kreis dd nicht $= bb$, sondern vielleicht 2000 mal grösser, sein Durchmesser also rund 45 mal grösser (ee möge dies darstellen), und könnten alle Strahlenbündel, die von ee ausgehen, noch den empfindlichen Theil der Netzhaut treffen, beziehungsweise die resultirenden Zerstreuungskreise sich ganz oder theilweise decken, was wohl möglich ist, wenn man bedenkt, dass die Strahlen, welche die Zerstreuungskreise bilden, nach der Brechung an Hornhaut und vorderer Linsenfläche noch zweimal reflectirt werden, so würden die beiden Intensitäten sich verhalten wie $1:0,01$, und solches Licht wäre bei mittleren Helligkeiten noch wahrnehmbar. Und dieser Fall ist erreichbar. Betrachtet man den hellen Himmel, so fallen hinlänglich viele Zerstreuungskreise reflectirten Lichtes übereinander.

Man könnte denken: Da das Gesichtsfeld 150° betragen kann, und da hierfür ee sehr gross ist, so müsste unter Um-

ständen das reflectirte Licht sogar noch stärker sein, als das directe. Allein der Verstärkung des ersteren durch Erweiterung des Gesichtsfeldes ist eben durch den Umstand eine Grenze gesetzt, dass je weiter nach aussen in *ee* der Mittelpunkt eines Strahlenbüschels liegt, ein umso kleinerer Theil seines Zerstreuungskreises mit *bb* sich deckt, also zur Verstärkung wirksam wird. Je weiter vom Auge entfernt *l* liegt, desto kleiner wird zwar der Winkel, unter dem *ee* erscheint, desto kleiner wird aber auch das directe Bild auf der Netzhaut, desto mehr Punkte des Objectes senden ihre Strahlen auf ein Netzhaulement, desto grösser muss also *ee* werden, wenn obiges Intensitätsverhältniss beibehalten werden soll, sodass der Winkel, unter dem *ee* dem Auge erscheint, von der Entfernung des Objectes vom Auge nicht abhängig ist, sondern von der Grösse des Zerstreuungskreises *bb*.

Aus dem Gesagten folgt also:

Beim Sehen gegen grosse helle Flächen, z. B. gegen den hellen Himmel, kann das in der Linse zweimal reflectirte Licht den Gesichtseindruck beeinflussen.

Indessen erfordert die Frage, wie sich das reflectirte Licht bemerkbar macht, eine eingehendere Erörterung.

Die Linse ist doppelbrechend, zwischen zwei Turmalinen liefert sie das Ringsystem einaxiger Krystalle; sie besteht ja auch aus lauter sechseitigen Säulchen, die in jeder Linsenschicht vom Mittelpunkte strahlenförmig ausgehen. Das in ihr reflectirte Licht muss also ganz bestimmten Gesetzen folgen, die ich seinerzeit in meiner Dissertation¹⁾ abgeleitet habe. Das Resultat meiner dortigen Untersuchungen bin ich genöthigt, hier in aller Kürze zu wiederholen, während ich im übrigen auf genannte Schrift selbst verweise.

Ich fand: Im Inneren eines einaxigen Krystalles kann sowohl der ordentliche wie der ausserordentliche Strahl nur dann einfach reflectirt werden, wenn die Schwingungen desselben vor sich gehen entweder parallel der reflectirenden Fläche oder in einer Ebene, die senkrecht zur reflectirenden

R. Geigel, Ueber Reflexion des Lichtes im Inneren einaxiger Krystalle. Würzburg 1883.

Fläche steht. In jedem anderen Falle wird der Strahl (ausserordentlicher oder ordentlicher) durch die Reflexion in zwei Theile zerlegt, einen ordentlichen und einen ausserordentlichen.

Unter der Annahme, dass die Linse negativ einaxig sei, gibt Fig. 13 den Verlauf des Vorganges, der Deutlichkeit halber natürlich mit starker Uebertreibung der jedenfalls sehr geringen Doppelbrechung; mit o ist jedesmal ein ordinarer, mit e ein extraordinärer Strahl bezeichnet.

Aus der Lage der sechsseitigen Säulchen darf wohl geschlossen werden, dass die optische Axe der Linse in jedem Punkte die Richtung, wie das dort befindliche Element hat, also für irgend einen Punkt der Oberfläche die Richtung der Tangente an den durch diesen Punkt und den zugehörigen Scheitel der Linse gelegten Bogen. In diesem Falle, jedoch auch dann, wenn die optische Axe der Linse parallel der Linsenaxe oder senkrecht zu derselben wäre, sieht man, dass bei der Reflexion eine weitere Zerlegung nur dann nicht stattfindet, wenn der einfallende Strahl, somit der ganze Reflexionsvorgang mit der Linsenaxe in einer Ebene liegt; bei jeder anderen schiefen Incidenz, also für die allermeisten Strahlen, tritt die geschilderte Zerlegung ein.

Und zwar wird ein bei A eintretender Strahl s durch Doppelbrechung in zwei zerlegt, einen ordentlichen und einen ausserordentlichen; jeder dieser beiden wird bei B durch Reflexion abermals in zwei Theile zerlegt, sodass bei C vier Strahlen ankommen, wo jeder derselben wieder durch Reflexion zerlegt wird; somit kommen bei D acht Strahlen an, vier ordentliche und vier ausserordentliche. Von diesen acht Strahlen sind nun immer je zwei so beschaffen, dass sie, falls sie zusammentreffen, zu Interferenz geeignet sind. Betrachtet man die Strahlen 1 und 3, so sieht man, dass beide von dem ausserordentlichen Strahle zwischen A und B herühren, also ursprünglich gleiche Polarisationssebene hatten; bei B wurden sie auf verschiedene, bei C wieder auf gleiche Polarisationssebene gebracht; ebenso das Strahlenpaar 2 und 4. In ganz der gleichen Weise findet sich, dass das Strahlen-

paar 5 und 7 ursprünglich vom ordentlichen gebrochenen Strahl herrührt, zwischen *B* und *C* verschiedene Polarisations-ebene hatte und bei *C* wieder auf gleiche Polarisations-ebene gebracht wurde; ebenso das Paar 6 und 8.

Jedes der vier Strahlenpaare erlangt zwischen *B* und *C* einen gewissen Gangunterschied, der, da wegen der geringen Doppelbrechung *B* und *C* sehr eng begrenzt sind, für jedes Strahlenpaar derselbe ist.

Es muss erwähnt werden, dass das Strahlenpaar 1 und 3, sowie das Paar 5 und 7, obwohl das erstere vom ausserordentlichen, das letztere vom ordentlichen gebrochenen Strahl kommt, dennoch mit demselben Gangunterschiede interferirt. Der Strahl 1 erleidet bei *B* eine Verzögerung von einer halben Wellenlänge, ebenso der Strahl 3 bei *C*; beide befinden sich also, abgesehen von dem zwischen *B* und *C* erlangten Gangunterschiede, in gleicher Phase. Strahl 5 erleidet keine Verzögerung, Strahl 7 zweimal eine solche von je einer halben Wellenlänge bei *B* und *C*; also auch diese beiden befinden sich in gleicher Phase, abgesehen vom Gangunterschiede, den sie zwischen *B* und *C* erlangen, und mit dem sie interferiren, wenn sie zusammentreffen.

Ob nun gerade die genannten Strahlenpaare auf der Netzhaut zusammentreffen, ist sehr fraglich. Aber jedenfalls gibt es immer einen parallel mit *s* einfallenden, also von demselben Punkte des Objectes kommenden Strahl *s'*, von welchem der Theil 1 mit dem Theile 3 des Strahles *s* auf der Netzhaut zusammentrifft, und so findet sich auch immer für jeden anderen Strahl ein coordinirter, der mit ihm gerade auf der Netzhaut zusammentrifft.

Ist das bei *A* eintretende Licht selbst schon polarisirt, so tritt dieselbe Zerlegung ein, und die austretenden Strahlenpaare interferiren ebenfalls nur mit dem zwischen *B* und *C* erlangten Gangunterschiede.

Also: Mag in die Linse unpolarisirtes oder polarisirtes Licht eintreten, immer treten nach zweimaliger Reflexion Strahlen aus, die zur Interferenz geeignet sind. Nehmen wir homogenes Licht an, so müssen die Interferenzerscheinungen in hellen und dunklen Kreisen bestehen, voraus-

gesetzt, dass sowohl vorderer als hinterer Linsenrand gleichmässig gekrümmt sind. Ist dies nicht der Fall, sind vorderer oder hinterer Linsenrand oder beide im Verticaldurchschnitte stärker gekrümmt als im horizontalen, so müssen elliptische Ringe entstehen, deren horizontaler Durchmesser länger ist.

Da die Doppelbrechung der Linse jedenfalls ungemein gering ist, so gehören schon grosse Wege der Strahlen zur Interferenz, und die Ringe werden sehr breit werden. Tritt in die Linse Licht ein, welches in irgend einer Richtung polarisirt ist, z. B. in der Verticalebene, so ist von vornherein klar, dass die Erscheinung in der verticalen derjenigen in der horizontalen Richtung complementär sein muss; denn während die Polarisationssebene der einfallenden Strahlen für die ganze Linse dieselbe ist, bilden die Hauptschnitte der doppelbrechenden Elemente in der Verticalen und Horizontalen einen Winkel von 90° miteinander.

Und jetzt darf ich wohl die Ansicht als eine nicht unbegründete aussprechen, dass nämlich die Haidinger'schen Polarisationsbüschel nichts anderes sind, als die Interferenzerscheinung, welche von polarisirtem, in die Linse eingetretenem und in derselben zweimal reflectirtem Lichte herrührt.

Tritt unpolarisirtes Licht ein, so haben wir lediglich die Erscheinung des gelben Fleckes und dessen, was damit zusammenhängt.

Diese Ansicht gewinnt an Wahrscheinlichkeit, da sie im Stande ist, einiges, was bis jetzt unerklärt war, zu erklären:

1. Hr. H. v. Helmholtz sagt in seiner physiologischen Optik, dass ihm ausserhalb des gelben Fleckes ein weiterer hellerer Ring bemerkbar ist, für den ein anatomisches Substrat nicht auffindbar ist. Ist nun der gelbe Fleck als erster dunkler Ring (bei blauem Lichte) zu betrachten, so folgt natürlich, dass ausserhalb desselben der erste helle Ring liegt, der dann blau sein muss.

2. In demselben Werke gibt Hr. v. Helmholtz an, dass es ihm nie gelungen ist, in anderem als blauem Lichte die Haidinger'schen Büschel zu sehen, z. B. nie in rothem. Ich sagte oben, dass infolge der sehr schwachen Doppel-

brechung die Interferenzringe sehr breit würden. Im rothen Lichte aber noch viel breiter als im blauen. Man kann als Verhältniss von der Wellenlänge eines Strahles im rothen zu der eines solchen im blauen Theile des Spectrums rund annehmen 1:0,5. Da also, wo blaue Strahlen einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge haben und einen dunklen Ring bilden, werden rothe Strahlen einen Gangunterschied von einer viertel Wellenlänge haben und einen neutralen Ring bilden, dessen Helligkeit durch Aenderung der Polarisations-ebene des einfallenden Lichtes nicht beeinflusst wird.

Ich bemerke hier, dass die Mitte des Zerstreuungskreises durch Interferenz nicht beeinflusst wird, denn dorthin kommen nur Strahlen, deren Reflexionen in Ebenen vor sich gehen, die durch die Linsenaxe gehen, und in denen eine Zerlegung bei der Reflexion nicht stattfindet.

3. Das baldige Verschwinden der Haidinger'schen Büschel sowohl, wie des gelben Fleckes.

Wie gesagt, ist das Sichtbarwerden des reflectirten Lichtes abhängig von einer gewissen Grösse des Gesichtsfeldes und dabei von einer mittleren Helligkeit des Objectes. Ich machte nun folgende Erfahrung. Wenn ich die Haidinger'schen Büschel mit einem Auge beobachte, so kann ich sie, wenn sie mir verschwunden sind, ohne Aenderung der Polarisations-ebene wieder hervorrufen, wenn ich das andere Auge kurze Zeit öffne und wieder schliesse. Die Büschel erscheinen dann wieder für kurze Zeit. Dasselbe thut in unpolarisirtem Lichte der gelbe Fleck. Weshalb? Beim Oeffnen des zweiten Auges wird plötzlich die Pupille des Beobachtenden enger, dadurch wird die Stärke des direct durchgegangenen Lichtes vermindert, die Zerstreuungskreise des reflectirten Lichtes kleiner, aber nicht schwächer. War vorher die Helligkeit für die Wahrnehmung des reflectirten Lichtes zu gross, so wird sie jetzt hierfür günstiger, und das reflectirte Licht wird so lange sichtbar, bis die Pupille zu ihrer vorigen Grösse zurückgelangt ist.

4. Das plötzliche Aufblitzen des gelben Fleckes, wenn das ausgeruhte Auge unvorbereitet eine sehr helle Fläche

ansieht, lässt sich ebenso erklären. Nur wird in diesem Falle die Pupille noch stärker verengert.

5. Eine Erscheinung, die ich selbst an meinem Auge beobachtete, ist die, dass bei den Haidinger'schen Büscheln allemal die Farbe, welche gerade vertical steht, durch die Mitte des Gesichtsfeldes hindurchzugehen und die andere, eben horizontale Farbe zu trennen scheint. Da es wahrscheinlich ist, dass die Linse im Verticaldurchschnitte stärker gekrümmt ist, als im horizontalen, so rücken die Interferenzringe von oben und unten her der Mitte näher, als von rechts und links, und der innerste kann sich der Mitte so weit nähern, dass er von oben und unten her durch sie durchzugehen scheint. Es mag dies übrigens individuell verschieden sein, wie aus den verschiedenen Beschreibungen, die man von den Haidinger'schen Büscheln finden kann, hervorzugehen scheint.

6. Dieselbe Annahme von der verschiedenen Krümmung der Linse erklärt die ebenfalls von Hrn. v. Helmholtz gemachte Beobachtung, dass ihm der gelbe Fleck nicht kreisrund, sondern mehr rhombisch erscheint, mit kürzerer verticaler und längerer horizontaler Diagonale. Es dürfte dies vielleicht auf elliptische Gestalt desselben mit kürzerer Vertical- und längerer Horizontalaxe zurückzuführen sein.

In dasselbe Gebiet der Erscheinungen gehört eine andere Beobachtung, die ich machte. Wenn ich eine grosse, sehr helle Fläche ansehe und dann ebenso, wie eben in 3. beschrieben, die Pupille des beobachtenden Auges verengere, so sehe ich für kurze Zeit äusserst schwache regenbogenartige Streifen, die das Gesichtsfeld durchziehen, und zwar, wie mir scheint, in Gestalt einer Hyperbel mit horizontaler Axe. Ich halte sie für Interferenzerscheinungen, die jedoch nicht von dem Lichte herrühren können, das allein in der Linse reflectirt ist; denn in diesem können nur Interferenzen von Strahlen ganz kurzer Wellenlänge sichtbar werden. Er wäre vielleicht möglich, sie so zu erklären: Von dem Lichte, welches bei *B* (Fig. 13) reflectirt wird, wird ein Theil bei *C* wieder reflectirt. Der grössere Theil tritt bei *C* aus und gelangt zur Hornhaut; hier wird wieder ein Theil reflectirt, allerdings

ohne neue Zerlegung, jedoch unter Beibehaltung der früher erlittenen, gelangt dann wieder in die Linse, wird dabei durch doppelte Brechung abermals zerlegt und kann dann mit dem schon bei *C* reflectirten Theile, mit dem er eines Ursprunges ist, zur Interferenz kommen. Dabei werden die Gangunterschiede infolge der grösseren Wegunterschiede rascher wachsen, und es könnten Interferenzen auch von Strahlen grösserer Wellenlänge sichtbar werden.

Indessen, ich bin hier meiner Sache nicht absolut sicher, die Erscheinung ist, wie gesagt, noch viel schwächer und flüchtiger, als die der Haidinger'schen Polarisationsbüschel.

**IX. Untersuchungen über den Einfluss
der Feuchtigkeit auf den Längenzustand von
Hölzern und Elfenbein;
von Rudolf Hildebrand.**

(Hierzu Taf. II Fig. 14.)

I. Einleitung.

Die Hölzer unterliegen bezüglich ihrer Ausdehnung nicht nur den Einflüssen der Wärme, sondern auch denen der Feuchtigkeit. Und zwar sind letztere Einflüsse die bei weitem bedeutenderen, denn sie können in den äussersten Fällen bis 2 Proc. der Länge, gemessen in Richtung der natürlichen Fasern, betragen, während die bisher ermittelten Aenderungen durch Wärme selten 1 Prom. erreichen. Es liegen bisher meines Wissens nur drei Arbeiten¹⁾ vor, welche die Längenänderungen des Holzes vom trockenen zum nassen Zustande behandeln.

Die älteren unter diesen Arbeiten sind die von Laves und Weissbach. Letzterer behandelt die Angelegenheit vom rein technischen Standpunkte aus, verwendet sehr be-

1) Laves, *Polyt. Centralbl.* p. 798. 1837; Weissbach, *Polyt. Centralbl.* 6. p. 570. 1845; Villari, *Pogg. Ann.* 133. p. 400. 1868.

trächtliche Holzklötze zu seinen Untersuchungen und benutzt ein ziemlich rohes Messungsverfahren. Das Hauptinteresse lag für ihn überdies in der Feststellung der Gewichtszunahme, welche die Hölzer durch längeres Liegen im Wasser erleiden. Auch sorgt er nicht in zureichender Weise für völlige Austrocknung der Hölzer und legt letztere, nachdem sie getrocknet sind, in fließendes Wasser. Auch Laves trocknet die Hölzer nicht genügend aus. Er nimmt an, dass sie durch längeres Liegen in einem Raume mit Zimmertemperatur den Zustand grösster Trockenheit und Kürze erreichen. Um den Hölzern Feuchtigkeit zuzuführen, legt er sie in einen feuchten Keller. Er kommt aber im Verlaufe seiner umfänglichen Versuche zu dem Ergebniss, dass die Feuchtigkeit ein Factor sei, der den Längenzustand der Hölzer beträchtlich beeinflusse, und dass dieser Einfluss bei ungenügender Vorsicht so mächtig werden könne, dass er hölzerne Bauwerke plötzlich zu zerstören vermöge. Die dritte Arbeit über den Gegenstand stammt von Villari her. Er trocknet die Hölzer, indem er mit Hülfe höherer Temperaturen das Imbibitionswasser verdampft, ein Verfahren, durch welches die Holzfasern der chemischen Veränderung sowohl als der Veränderung durch die physikalische Einwirkung der Wärme ausgesetzt ist. Um die Hölzer nach der Austrocknung wieder zu verlängern, legt er sie ebenfalls in Wasser.

Die Beobachtungen, deren Resultate in der vorliegenden Arbeit mitgetheilt sind, wurden auf die freundliche Anregung des Hrn. Prof. F. Kohlrausch unternommen und hatten einen dreifachen Zweck:

- 1) wollten sie in einer den Physiker befriedigenden Weise, zunächst von einem rein quantitativen Interesse geleitet, die Längenunterschiede von Hölzern in völlig trockenem Zustande und dem Zustande der Feuchtigkeit, der aus gesättigter feuchter Luft stammte, feststellen und die diesen Längenänderungen entsprechenden Schwankungen des von den Zellwänden aufgenommenen Wasserquantums bestimmen, sowie den Einfluss der völligen Tränkung der Hölzer mit Wasser ermitteln.

- 2) verfolgten sie den Zweck, zu untersuchen, ob und in

wie weit Hölzer durch die täglichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit in ihrem Längenzustande und Gewichte beeinflusst werden.

3) wollten sie untersuchen, ob und in wie weit eine geeignete Behandlung des Holzes, als z. B. Politur, Lacküberzug, Tränkung mit Paraffin u. s. f. das Holz vor den Einflüssen der Luftfeuchtigkeit in Bezug auf Länge und Gewicht zu schützen vermöchte.

Alle diese Untersuchungen beziehen sich auf die Ausdehnungen und Zusammenziehungen, welche die Hölzer in Richtung ihrer Fasern erleiden, während die Aenderungen, welchen die Hölzer in Richtung der Radien des Stammquerschnittes und im Stammquerschnitte senkrecht zu diesen in Richtung des Stammumfanges durch Feuchtigkeitseinflüsse unterliegen, nicht berücksichtigt wurden, obwohl sie bei weitem bemerkbarer sind als die Längenänderungen. Diese Beschränkung schien mir namentlich durch die praktische Erwägung gerechtfertigt zu sein, dass es in der That niemandem einfallen wird, Hölzer, von denen er eine möglichst gute Constanz der Längen wünscht, in anderer Richtung als der der Fasern verwenden zu lassen. Das „Quellen“ und noch mehr das „Schwinden“ der Hölzer senkrecht zur Richtung der Fasern sind zu bekannte Thatsachen, als dass man sich bei Holzconstructions von diesen Einflüssen nicht von vornherein möglichst frei zu halten suchte

Bietet der erste Punkt vom naturwissenschaftlichen Standpunkte aus unzweifelhaft ein gewisses Interesse dar, so ist es namentlich der zweite Punkt, welcher das Interesse des Physikers, des Geodäten, überhaupt aller derer, welche Präcisionsmessungen machen, in Anspruch nehmen muss. Denn wenn die Hölzer in der That mittelst ihrer hygroskopischen Eigenschaft in den Längen nachweisbaren Schwankungen mit der Veränderung der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sind, so muss dieser Umstand bei allen Untersuchungen zur Vorsicht mahnen, bei denen Hölzer als Maassstäbe oder als Träger von solchen in Anwendung zu kommen pflegen.

II. Das Untersuchungsverfahren.

Die Beobachtungen wurden im Sommersemester 1886 und im darauffolgenden Wintersemester im physikalischen Institute der Universität zu Würzburg ausgeführt und zwar in einem mit den Fenstern nach Norden gelegenen Erdgeschoss, welches sich durch eine ausserordentliche Gleichmässigkeit der Zimmerwärme auszeichnete. Die im Sommer zwischen den heissesten und kühlestn Tagen in diesem Raume vorkommenden Temperaturschwankungen bezifferten sich noch nicht auf 5° C., ein Umstand, der der Sicherheit meiner Beobachtungen sehr zu statten kam, indem er mich vor beträchtlicheren Veränderungen des benutzten stählernen Grundmaassstabes durch Temperaturwechsel und vor zu jähen Feuchtigkeitsänderungen der Luft, die von ungünstigem Einflusse auf mein Untersuchungsmaterial hätten sein können, bewahrte.

Was das Untersuchungsmaterial selbst anlangt, so musste ich darauf bedacht sein, den Stäbchen, welche ich beobachten wollte, keine zu grosse Stärke zu geben, damit die Gesammtheit der Holzfasern der umgebenden Feuchtigkeit möglichst leicht zugänglich wäre. Der durch diesen Gesichtspunkt bedingte mässige Querschnitt gestattete wiederum eine nur knapp bemessene Länge der Hölzer, wenn der Gefahr der Verbiegung möglichst vorgebeugt werden sollte. Die Stäbchen erhielten daher einen quadratischen Querschnitt von beiläufig 5 mm Seitenlänge¹⁾ und eine Länge von 220 mm. Sie wurden, wenn es der Wuchs des Holzes erlaubte, aus einem gespaltenen Stück mit möglichster Vorsicht so zurecht gehobelt, dass womöglich alle Fasern nur an den quadratischen Endflächen und nirgends an den prismatischen Seitenflächen quer durchschnitten wurden.

Die Messungen selbst wurden mit einem Comparator ausgeführt, welcher aus zwei Mikroskopen, die auf einer Stahlschiene befestigt waren, bestand. Die Mikroskope waren von genügender Vergrösserung und mit je einer Theilung

1) Nur einige der Hölzer waren von etwas geringerem Querschnitt, wodurch sich ihr leichteres Gewicht erklärt.

von 80 Theilstrichen versehen. Der Abstand je zweier benachbarter Theilstriche betrug 0,0945 mm. Die Ablesungsfehler bei einer einzelnen Ablesung werden sich in seltenen Fällen (nach einiger Uebung) bis auf zwei Zehntel der Entfernung zweier Theilstriche (0,02 mm) belaufen haben, sodass in den ungünstigsten Fällen die durch zwei aufeinanderfolgende Beobachtungen gesuchte Längendifferenz auf derselben Seite eines Stäbchens, mit einem möglichen Fehler von 0,04 mm behaftet sein kann. Als Marken für die Ablesung mittelst der Mikroskope benutzte ich, nach mannigfachen Versuchen, sorgfältig in Siegellack mit einer feinen Spitze eingerissene Striche. Der Siegellack war in Aether gelöst und mit einem Pinsel in mässiger Stärke an den Enden der Stäbchen aufgetragen und sorgfältig getrocknet worden, bevor die Marke hergestellt wurde.

Nachdem die Stäbchen in der angegebenen Weise an den Enden der vier Seitenflächen mit je zwei solchen Marken, die möglichst genau in der Entfernung von 200 mm angebracht wurden, versehen waren, wurden sie zunächst auf allen vier Seiten zwischen den Marken gemessen und dann gewogen. Alsdann kam es mir darauf an, die zunächst im lufttrockenen Zustande befindlichen Hölzer, welche übrigens sämmtlich von seit langer Zeit geschlagenen Bäumen stammten, wirklich auszutrocknen, d. h. das ihnen in den Zellwänden noch imbibirte Wasser zu entziehen.

Zu diesem Zwecke hängte ich die Stäbchen in einen zweckmässig gestalteten Recipienten der Geissler'schen Quecksilberluftpumpe, welcher auf seinem Boden mit concentrirter Schwefelsäure bedeckt war. Die so bewirkte Austrocknung im luftleeren Raume war gewöhnlich nach Verlauf einiger Tage beendet und wurde mit der Wage festgestellt. Dabei wurde vor der Herausnahme der Stäbchen aus dem Recipienten die Vorsicht gebraucht, dass die wieder zugelassene Luft mit Hülfe von Trockenflaschen von aller Feuchtigkeit befreit war.

Die Hölzer selbst zeigten in diesem Zustande der völligen Austrocknung eine solche Begier, Wasserdampf aus der Luft aufzusaugen, dass sie so ohne weiteres nicht gewogen

werden konnten, weil wegen der hastigen Aufnahme von Feuchtigkeit und der damit verbundenen Gewichtszunahme die Ausführung einer genauen Wägung unmöglich war.

Die Stäbchen wurden daher gleich bei der Herausnahme aus dem Recipienten einzeln in leichte Reagensgläser gebracht, die gerade lang und weit genug waren, um die Hölzer aufzunehmen, und die Gläser mit gut passenden Pfropfen verschlossen. Von dem so ermittelten Gewicht wurde dann das Gewicht des Glases mit Kork abgezogen.

Nach der Wägung wurden die Stäbchen, die bis zu dieser Zeit unter Luftabschluss trocken gehalten werden mussten, gemessen. Die Messung wurde möglichst rasch vollzogen; besondere Vorsichtsmaassregeln waren nicht nothwendig. Die Stäbchen zeigten, während sie ohne besonderen Schutz unter dem Comparator lagen, trotz der dabei unvermeidlich stattfindenden Aufnahme von Wasserdampf aus der Luft, keine nachweisbare Längenänderung. Um die Verkürzungen, welche die Stäbchen sämmtlich während der Austrocknung erfahren hatten, durch Aufnahme von Luftfeuchtigkeit wieder auszugleichen, waren immerhin mehrere Stunden Zeit erforderlich; die während einer verhältnissmässig kurzen Zeit von zwei bis drei Minuten stattfindende Wasseraufnahme, welche sich bei der Wägung ungeschützter Stäbchen störend erwies, vermochte eine sichtbare Längenänderung noch nicht hervorzubringen.

Hiernach wurden die Stäbchen in geeignete, gut verschliessbare Glasgefässe, deren Böden mit Wasser bedeckt waren, und an deren Seitenwänden sich Fliesspapier befand, gehängt. Das vom Boden der Gefässe und dem sich stets vollgesaugt erhaltenden Papier verdampfende Wasser, sättigte die Luft der Gefässe sehr bald, wie sich aus dem Niederschlage an den Gefässdeckeln zeigte.

Die Stäbchen wurden nun wiederholt nach Verlauf gewisser Pausen gewogen und dann gemessen. Bei den Wägungen wurden die Stäbchen unter Luftabschluss gehalten. Einzelne der Stäbchen wurden gleich vom lufttrockenen Zustande aus in die mit Feuchtigkeit gesättigte Luft gebracht, und nachdem sie den Zustand grösster Länge erreicht hatten,

ausgetrocknet. Näheres geht aus den in den folgenden Abschnitten aufgeführten Tabellen hervor.

Das hier angegebene Verfahren bezieht sich auf die im III. und V. Abschnitte angeführten Beobachtungen. Für die Beobachtungen unter dem IV. Abschnitte ist das Nöthige betreffenden Ortes selbst bemerkt.

Correctionen. Von Correctionen, welche bei der Verwerthung des zahlenmässigen Beobachtungsmaterials zu beachten waren, ist wesentlich namentlich diejenige, welche den Einfluss einer geringen Biegung der Stäbchen zu eliminiren bestimmt ist. Hölzer, welche eine zu starke Verbiegung annehmen, wurden von der weiteren Beobachtung ausgeschlossen. Es ereignete sich aber, dass Stäbchen, welche anfangs gerade waren, nach der Austrocknung, seltener nach dem Einbringen in die feuchte Luft, eine kleine Krümmung annehmen. Eine solche Krümmung ist durch Rechnung leicht zu corrigiren, wenn die Mittellinie des Stäbchens im Sinne einer einfach gekrümmten Curve verbogen worden ist. War dagegen die Krümmung im Sinne einer zweifach (räumlich) gekrümmten Curve oder wellenförmig erfolgt, so wurde das betreffende Stäbchen von weiterer Beobachtung ausgeschlossen, weil eine derartige Verbiegung eine einigermaßen sichere Correctur auf die wahre Länge nicht leicht gestattet.

Unter der Annahme, dass die Verbiegung der Mittellinie der Stäbchen im Kreisbogen geschah, s die Länge dieses Bogens, $2a$ die Länge der zugehörigen Sehne, b aber die Pfeilhöhe zwischen Bogen und Sehne bedeutet, würde die an einem verbogenen Stäbchen in Wirklichkeit gemessene Sehne $2a$ auf den Werth des Bogens:

$$s = 2r\varphi = \frac{a^2 + b^2}{b} \cdot \arcsin \left(\frac{2ab}{a^2 + b^2} \right)$$

zu corrigiren sein. Es ist völlig genügend, hierfür zu schreiben:

$$s = 2a \left(1 + \frac{2}{3} \frac{b^2}{a^2} \right).$$

Für b wurde, falls das Stäbchen in nur einer Richtung durchgebogen erschien, die mit dem Millimeterstabe direct gemessene Durchbiegung in die Correctionsformel eingeführt.

War das Stäbchen an zwei anstossenden Seiten durchgebogen, sodass die Mittellinie in der Diagonalebene zweier gegenüberliegender Kanten des geraden parallelepipedischen Stäbchens oder in einer hiervon wenig abweichenden Ebene verbogen war, so wurde b als Quadratwurzel aus der Summe der beiden Quadrate der Durchbiegungen berechnet. Das Correctionsglied wurde zu dem Mittelwerthe hinzugefügt, der aus den Messungen auf den vier Seiten des Stäbchens erhalten wurde.

Correctionen, wegen Veränderung des stählernen Maassstabes und des die Mikroskope tragenden Stahlstabes sind, unter Zugrundelegung von 0,000012 als linearen Ausdehnungscoëfficienten des Eisens für 1°C. , nur bei den Tabellen unter dem IV. Abschnitte angewendet worden. Sie betragen nie eine volle Einheit der zweiten Decimale, bleiben also weit hinter den möglichen Ablesungsfehlern zurück.

Relative Bedeutung der Resultate. Was nun die Resultate selbst angeht, so sind diese recht wohl geeignet, einen Einblick und Ueberblick in die Grössen der Längenänderungen, welche durch den Wechsel des Feuchtigkeithaltens der Luft hervorgerufen werden und den Wassergehalt des Holzes bedingt sind, zu geben. Gleichwohl können die Resultate nur einen individuellen Werth in Bezug auf die gerade untersuchten Holzstücke beanspruchen. Denn die nachgewiesenen Maximallängenänderungen verschiedener Stücke der nämlichen Holzsorte, wenn diese Stücke von verschiedenen Stämmen, vielleicht nur von verschiedenen Seiten desselben Stammes herrühren, können selbst noch um das Doppelte, resp. die Hälfte voneinander verschieden sein (s. Eiche). Da Bäume derselben Gattung und Art je nach der Natur des Bodens, auf dem sie wachsen, der Art ihrer Umgebung und den allgemeinen Witterungsbedingungen, denen sie ausgesetzt sind, ganz verschieden in Bezug auf die Dichte und Festigkeit ihres Holzes ausfallen können, so ist es wahrscheinlich, dass die ermittelten Ausdehnungswerthe durch Feuchtigkeit nur für Hölzer, welche unter gleichen Lebensbedingungen entstanden sind und derselben Gattung, Art und Familie angehören, eine allgemeinere Gültigkeit haben können.

Es folgen in den nächsten drei Abschnitten in tabellarischer Uebersicht die Resultate der angestellten Beobachtungen. Im III. Abschnitte stehen die Tabellen, die von den nachweisbaren Maximallängendifferenzen zwischen trockenem und feuchtem Zustande handeln, dann kommen im IV. Abschnitte die durch Schwankungen der Luftfeuchtigkeit hervorgerufenen Veränderungen. Im V. Abschnitte stehen die Veränderungen, die Trockenheit und Luftfeuchtigkeit auf Hölzer ausüben, die mit Politur, Lack u. s. w. behandelt sind.

Beobachtungen.

Diejenigen Holzarten, welche die grösste Ausdehnung zeigen, sind vorangestellt. Einestheils um eine Controle über die angestellte Umrechnung zu ermöglichen, anderentheils um zu zeigen, inwieweit die Längendifferenzen auf den vier verschiedenen Seiten der Stäbchen die gleichen waren, sind, wenigstens bei einer Anzahl von Tabellen (5, 6, 7), in einer besonderen Spalte hinter den aus den Messungen auf den vier Seiten resultirenden mittleren Werthen, die auf jeder Seite gegen die vorhergehende Messung auftretenden Differenzen in Ganzen und Zehnteln der Originaltheilung des Mikroskopes angeführt. Bei diesen ausführlichen Tabellen sind auch die wegen Verbiegung angebrachten Correctionswerthe hinter den corrigirten Mittelwerthen in Einheiten der letzten Decimale beigestellt. Unterscheiden sich diese Differenzen auf den vier Seiten, wie sie bei aufeinanderfolgenden Zuständen des Stäbchens ermittelt wurden, um mehr als vier Zehntel der Mikroskoptheilung, so muss angenommen werden, dass sich die Holzfasern auf den vier verschiedenen Seiten des Stäbchens verschieden stark in ihrer Länge verändert haben, sofern nicht Krümmung im Spiele ist. Die im Cyklus gezählten Seiten der Stäbchen sind mit *A, B, C, D* bezeichnet. Die Hölzer wurden so lange im Trockenraume unter der Luftpumpe gelassen, resp. wieder dahin gebracht, bis ein Gewichtsverlust nicht mehr nachzuweisen war. Aus der gesättigten feuchten Luft wurden die Hölzer entfernt, wenn nach Verlauf mehrerer Tage eine Ausdehnung nicht mehr zu constatiren war.

III. Maximalausdehnungen zwischen trockenem und feuchtem Zustande.

Um zu ermitteln, welchen Einfluss völlige Durchtränkung der Hölzer mit Wasser auf den Längenzustand ausübt, wurden dieselben Hölzer, welche erst in feuchter Luft waren, unter den Recipienten der Luftpumpe in Wasser gelegt. Die in solcher Weise im Wasser liegenden Hölzer verloren nach einiger Zeit ausnahmslos die Fähigkeit zu schwimmen. Bei der Austrocknung war mit dem Minimalgewicht stets auch die Minimallänge erreicht. Die Tabellenangaben reichen bis zur beendeten Längenzunahme durch Feuchtigkeit. Die ursprünglich in drei Decimalstellen von mir berechneten Tabellen sind nachträglich auf zwei Stellen reducirt worden.

1. Nussbaum.

Tabelle 1.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,31	2,35	1,19	—	—	—
Getrocknet 1 Tag . . .	197,17	0,20	—	—	—	—
" 2 Tage	196,96	—	—	—	—	—
" 3 "	196,97	—	—	2,66	—	—
In gesättigter Luft						
nach 6 Tagen	200,82	3,86	1,96	3,54	87	32,7
" 7 "	200,91	3,94	2,01	3,56	90	33,8
" 15 "	201,02	4,06	2,07	3,60	93	35,0
" 18 "	201,04	4,07	2,08	3,60	94	35,1
Getrocknet nach 4 Tagen	196,99	0,03	—	2,64	— 3	—

Bemerkung. Die Längsfasern sind etwas gewellt.

Tabelle 2.

Lufttrocken	199,58	2,13	1,08	2,97	42	16,3
Getrocknet 3 Tage . . .	197,45	—	—	2,55	—	—
In gesätt. Luft nach 5 T.	200,95	3,50	1,77	3,46	91	35,5
" " " " 8 "	200,98	3,52	1,78	3,48	92	36,2
" " " " 11 "	201,02	3,56	1,80	3,49	93	36,5
" " " " 14 "	201,04	3,59	1,82	3,50	95	37,1
Voll Wasser	201,10	3,65	1,85	7,06	451	176,4
Getrocknet 3 Tage . . .	197,50	0,05	—	2,55	—	—
Lufttrocken nach 90 Tagen	199,65	2,20	1,11	3,00	45	17,9

Bemerkung: Fasern gewellt.

Tabelle 3.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100} \%$	Proc.
Lufttrocken	200,24	1,08	0,54	2,80	28	11,5
Getrocknet 6 Tage . .	199,16	—	—	2,52	—	—
In gesättigter Luft nach						
1 1/4 Tage (6 Std.)	200,10	0,94	0,47	2,78	26	10,6
1 "	200,93	1,76	0,89	3,10	58	23,7
2 Tagen	201,04	1,88	0,94	3,26	74	30,0
3 "	201,10	1,94	0,97	3,31	79	32,0
7 "	201,12	1,96	0,99	3,37	66	34,8
Voll Wasser	201,22	2,06	1,00	6,80	428	174,9
Getrocknet 4 Tage . .	198,92	-0,25	—	2,51	-1	—

Bemerkung: Fasern gerade.

Tabelle 4.

Lufttrocken	200,22	1,22	0,61	2,66	28	12,0
In gesätt. Luft nach 1 T.	200,92	1,92	0,96	3,02	65	27,2
" " " " 2 "	201,08	2,08	1,05	3,10	73	30,6
" " " " 3 "	201,15	2,15	1,08	3,16	79	33,2
" " " " 5 "	201,23	2,23	1,12	3,21	84	35,5
" " " " 10 "	201,23	2,23	1,12	3,25	88	37,0
Getrocknet 10 Tage . .	199,00	—	—	2,37	—	—
Voll Wasser	201,31	2,31	1,16	7,04	467	196,8

Bemerkung: Fasern gerade.

Aus allen vier Tabellen geht in Uebereinstimmung hervor, dass mit jeder Längenänderung auch stets eine Gewichtsveränderung verknüpft ist, und zwar in dem gleichen Sinne. In den Tabellen 1 und 2 sind die Stäbchen bei der zweiten Austrocknung ziemlich genau in den Zustand der ersten Austrocknung in Betreff der Länge zurückgekehrt, bei Tab. 2 kehrt auch die Gewichtszahl fast genau wieder. Bei allen vier Tabellen ist bemerkenswerth, dass der Zustand der Zustand der ersten Länge erst bei völliger Durchtränkung mit Wasser eintritt. Die Bildung von Pilzwuchs erlaubte nicht, die Stäbchen noch längere Zeit der gesättigten feuchten Luft auszusetzen. Bei den meisten der im Folgenden aufgeführten Beobachtungen, die sich auf andere Hölzer beziehen, stimmt hingegen die in der gesättigten Luft erlangte grösste Ausdehnung mit der durch völlige Durchtränkung erzielten gut überein. Ich neige daher zu

3. Mahagoni. Tabelle 5.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	K	Differenzen in Theilen des Mikroskops				Längenausweichung gegen den trockenen Zustand in Proc.	Gewichte in g	Gewichtsdifferenzen in 1/1000	Proc.
			A	B	C	D				
Lufttrocken	200,18	—	—	—	—	—	0,82	—	—	—
Getrocknet 1 Tag . . .	199,56	—	—6,6	6,2	6,5	6,9	0,20	0,10	—	—
„ 3 Tage	199,37	—	—1,8	1,8	2,5	2,2	—	—	—	—
„ 6 Tage	200,43	—	+11,2	10,8	11,7	11,5	1,07	0,54	62	20,0
„ 15 „	200,48	—	+0,9	0,2	0,5	0,5	1,12	0,56	80	25,7
Getrocknet 4 Tage . . .	199,35	1	—12,4	11,0	12,2	13,0	—0,02	—	3,11	—

Tabelle 6, 1)

Lufttrocken	199,97	—	—	—	—	—	0,81	0,41	3,81	41	12,0
Getrocknet 5 Tage . . .	199,16	—	—8,0	8,7	8,8	8,8	—	—	3,40	—	—
„ 2 Tag.	200,15	—	+9,8	10,6	10,7	10,6	0,99	0,50	3,96	55	16,3
„ 3 Tag.	200,26	—	+1,2	1,2	1,2	1,1	1,10	0,55	4,04	64	18,9
„ 3 Tag.	200,28	—	+0,1	0,3	0,2	0,3	1,12	0,56	4,10	69	20,4
„ 3 Tag.	199,15	—	—11,9	12,0	11,8	12,3	—0,01	—	3,43	+3	—
„ 3 Tag.	200,28	—	+11,8	11,3	11,8	12,3	1,11	0,56	5,65	225	66,1
Voll Wasser	200,05	—	+2,9	2,0	1,7	2,8	0,89	0,45	3,90	50	14,7
Lufttrocken nach 75 Tag. .	199,77	—	—2,9	3,0	3,1	3,0	0,61	0,30	3,74	34	10,0

Tabelle 7.

Lufttrocken	199,74	—	—5,8	5,3	5,0	4,9	0,50	0,25	3,52	30	9,9
Getrocknet 6 Tage . . .	199,25	—	—	—	—	—	—	—	3,02	—	—
„ 1 Tag.	199,50	—	+8,3	2,7	2,5	2,2	0,25	0,13	3,22	20	6,7
„ 1 Tag.	199,86	—	+3,5	4,0	3,7	3,8	0,61	0,30	3,52	50	16,7
„ 2 Tag.	199,91	11	+0,3	0,5	0,3	0,3	0,66	0,33	3,66	65	21,4
Voll Wasser	199,91	11	±0,0	0,0	0,0	0,0	0,66	0,33	5,82	280	92,8
Getrocknet 4 Tage . . .	198,88	—	—12,8	10,7	11,0	12,6	—0,42	—	3,01	—1	—

Bemerkung: 1) Das Holz hing vom 3. Tage an ausserdem noch 9 Tage lang in der gesättigten Luft, ohne weitere Längenänderung.

der Ansicht, dass es auch bei dem Nussbaumholz gelingen würde, die grösstmögliche Ausdehnung schon durch Feuchtigkeitsaufnahme aus der gesättigten Luft zu erzielen, wenn sich die Pilzbildung, welche die Hölzer chemisch zu verändern droht, vermeiden liesse. (Siehe die Tab. 5, 6, 7 auf p. 372).

Während die Stäbchen von Tab. 5 und 6 bei der zweiten Austrocknung die bei der ersten Austrocknung angenommene Länge ziemlich genau wieder annahmen, ist dies bei dem Stäbchen von Tab. 7 nicht der Fall. Hier wiederholt sich nur das Gewicht wieder ziemlich genau, im Längenzustand ist eine wesentliche Verkürzung gegen die erste Austrocknung geschehen. Die weiteren Beobachtungen desselben Stückes in lufttrockenem Zustande, bei verschiedener relativer Luftfeuchtigkeit, zeigen aber offenbar, dass das Holz sich nicht dauernd verändert hatte.

3. Eiche.

Tabelle 8.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,47	0,50	0,25	—	—	—
Getrocknet 1 Tag . . .	199,13	0,17	0,08	—	—	—
" 2 Tage	199,03	0,06	0,03	—	—	—
" 3 "	199,00	0,03	0,01	—	—	—
" 6 "	198,97	—	—	2,93	—	—
In gesätt. Luft nach 5 T.	199,64	0,67	0,34	3,82	89	30,3
" " " " 11 " . . .	199,64	0,68	0,34	3,90	96	32,9
" " " " 28 " . . .	199,67	0,70	0,35	4,05	111	37,9
Voll Wasser	199,67	0,70	0,35	7,98	504	172,0
Lufttrocken nach 80 Tag.	199,53	0,56	0,28	3,44	51	17,4

Tabelle 9.

Lufttrocken	201,01	0,54	0,27	2,99	35	13,1
Getrocknet 6 Tage . . .	200,47	—	—	2,64	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tag	201,22	0,75	0,37	3,10	46	17,5
" " " " 2 Tg. . . .	201,38	0,91	0,45	3,28	64	24,4
Getrocknet 4 Tage . . .	200,47	+0,00	—	2,67	+3	—
Voll Wasser	201,36	0,89	0,45	4,39	175	66,6
Lufttrocken nach 75 Tg.	201,16	0,69	0,34	3,06	43	16,1
" " 80 "	201,04	0,57	0,28	2,91	27	10,3

Bemerkung: Der Längenzustand am 2. Tage in gesättigter Luft war bis zum 6. Tage nicht weiter verändert.

Tabelle 10.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	200,39	0,71	0,35	3,02	45	17,4
Getrocknet 5 Tage . .	199,68	—	—	2,58	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Std.	200,01	0,34	0,17	2,81	23	8,8
" " " " 1 Tag	200,41	0,73	0,37	3,13	55	21,4
" " " " 3 Tg.	200,53	0,86	0,43	3,28	71	27,4
" " " " 6 "	200,63	0,95	0,46	3,40	83	32,0
" " " " 7 "	200,65	0,97	0,49	3,45	87	33,7
Getrocknet 6 Tage . .	199,70	+0,02	—	2,59	+ 1	—
Voll Wasser	200,65	0,97	0,49	5,70	312	121,1

In allen drei Fällen bei Tab. 8, 9, 10 stimmen die in der gesättigten Luft erreichten Maximallängen mit den durch völlige Durchtränkung erreichten gut überein. Bemerkenswerth ist die Raschheit, mit der bei Tab. 9 das Maximum in der gesättigten Luft erreicht wurde.

4. Weissbuche.

Tabelle 11.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,30	0,53	0,27	3,80	53	16,2
Getrocknet 6 Tage . .	198,77	—	—	3,27	—	—
In gesätt. Luft nach 5 T.	199,44	0,67	0,34	4,32	105	32,0
" " " " 8 "	199,45	0,68	0,34	4,34	106	32,5
Voll Wasser	199,44	0,66	0,33	7,06	378	115,5
Trocken	193,70	-0,07	—	3,28	—	—
Lufttrocken nach 75 Tg.	199,31	0,53	0,27	3,84	57	17,3

Tabelle 12.

Lufttrocken	201,02	0,44	0,22	3,86	44	13,0
Trocken 6 Tage	200,58	—	—	3,42	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tag	201,21	0,62	0,31	4,19	77	22,6
" " " " 2 Tg.	201,22	0,64	0,32	4,30	88	25,8
" " " " 3 "	201,24	0,66	0,33	4,44	102	29,9
" " " " 4 "	"	"	"	4,49	107	30,7
" " " " 5 "	201,25	0,66	0,33	4,52	110	32,1
Getrocknet 4 Tage . . .	200,52	-0,06	—	3,44	+ 2	—
Voll Wasser	201,25	0,66	0,33	7,45	408	119,5
Lufttrocken nach 75 Tg.	201,08	0,50	0,25	4,04	62	18,2
" " 80 "	200,99	0,41	0,20	3,79	38	11,1

Tabelle 13.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	198,34	0,56	0,29	4,29	64	17,4
Trocken	197,77	—	—	3,65	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Std.	198,11	0,34	0,17	4,01	36	9,8
" " " " 1 Tg.	198,38	0,61	0,32	4,64	99	27,1
" " " " 2 " "	198,44	0,67	0,42	4,78	113	31,0
Voll Wasser	198,44	0,67	0,42	8,06	441	120,7
Lufttrocken	198,11	0,34	0,17	4,00	35	10,0

In Tab. 11 ist das Stäbchen voll Wasser etwas kürzer, als im Endzustande in der gesättigten Luft; in Tab. 12 und 13 stimmt der Endzustand mit der im Wasser erlangten Länge überein.

5. Erle.

Tabelle 14.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,28	0,49	0,25	—	—	—
Getrocknet 1 Tag . . .	198,87	0,09	0,04	—	—	—
" 2 Tage	198,79	0,00	0,00	—	—	—
" 3 " " "	198,78	—	—	2,57	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Tg.	199,48	0,70	0,35	3,57	101	39,3
Voll Wasser	199,48	0,70	0,35	7,41	484	188,7
Trocken (3 Tage) . . .	198,77	-0,01	—	2,50	-6	—
Lufttrocken nach 65 Tg.	199,34	0,56	0,28	2,92	35	13,6

Das Stäbchen von Tab. 14 hat über 3 Wochen lang in Wasser gelegen. Es ist bemerkenswerth, dass danach die Fähigkeit der Längenänderung nicht verändert ist.

Tabelle 15.

Lufttrocken	200,34	0,34	0,17	3,00	33	12,2
Getrocknet 6 Tage . . .	200,00	—	—	2,67	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	200,52	0,51	0,26	3,32	65	24,2
" " " " 2 " " . . .	200,56	0,55	0,27	3,39	72	26,9
" " " " 3 " " . . .	200,57	0,56	0,28	3,42	75	28,2
Getrocknet 4 Tage . . .	200,10	0,09	—	2,68	1	—
Voll Wasser	200,57	0,56	0,28	7,02	435	162,9
Lufttrocken nach 75 Tg.	200,49	0,48	0,24	3,10	43	16,0
" " 85 " "	200,44	0,43	0,22	2,93	25	9,5

Tabelle 16.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,67	0,53	0,27	3,19	45	16,4
Trocken	199,13	—	—	2,74	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Std.	199,45	0,31	0,16	3,03	28	10,4
" " " 1 Tg.	199,74	0,60	0,30	3,38	64	23,4
" " " 2 "	199,80	0,67	0,34	3,56	82	30,0
Voll Wasser	199,82	0,69	0,34	7,20	446	162,6
Getrocknet nach 12 Tg.	199,48	0,34	0,17	2,93	19	6,8

Bemerkung: Veränderte die Länge vom 2. Tage an in der gesättigten Luft während sechs weiteren Tagen nicht mehr.

6. Schwarzes Ebenholz.

Tabelle 17.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	200,72	0,28	0,14	—	—	—
Getrocknet 1 Tag . . .	200,52	0,07	0,04	—	—	—
" 2 Tage . . .	200,45	0,01	0,00	—	—	—
" 3 " . . .	200,44	—	—	4,18	—	—
In gesätt. Luft nach 2 Tg.	200,72	0,28	0,14	4,91	72	17,4
" " " 19 "	200,75	0,31	0,15	6,32	215	51,4
Voll Wasser	200,75	0,31	0,15	7,73	355	85,0
Lufttrocken nach 65 Tag.	200,74	0,30	0,15	4,78	60	14,3

Bemerkung: Die Ausdehnung erfolgte zwischen dem 2. und 19. Tage in der gesättigten Luft ziemlich unregelmässig auf den vier Seiten, war am 19. Tage aber erst zu Ende.

Tabelle 18.

Lufttrocken	200,90	0,38	0,19	4,48	50	12,6
Getrocknet 6 Tage . . .	200,52	—	—	3,98	—	—
In gesätt. Luft nach 5 Tg.	200,97	0,45	0,23	5,39	141	35,4
" " " 8 "	200,99	0,47	0,23	5,55	157	39,4
" " " 14 "	200,02	0,50	0,25	5,93	195	48,9
Voll Wasser	200,98	0,46	0,23	7,50	351	88,3
Trocken nach 3 Tagen	200,47	—0,05	—	3,88	10	—
Lufttrocken nach 65 Tag.	200,92	0,39	0,20	4,48	50	12,5

Bei Tabelle 18 ist auffällig, dass das Holz voll Wasser kürzer ist als im Maximalzustande, den es in der gesättigten Luft erreichte. Ich möchte aber aus den Resultaten der

zweiten Austrocknung schliessen, dass das Holz sich überhaupt verändert hat.

Tabelle 19.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	200,85	0,22	0,11	5,46	48	9,7
Trocken nach 4 Tagen	200,62	—	—	4,98	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Std.	200,76	0,14	0,07	5,17	19	3,9
" " " " 1 Tg.	200,92	0,30	0,15	5,60	62	12,5
Voll Waaser	200,92	0,30	0,15	8,66	368	74,0
Getrocknet 4 Tage . . .	200,55	-0,08	—	4,74	-24	—

Bemerkung: Zeigte nach dem 1. Tage in gesättigter Luft bei täglicher Beobachtung in weiteren 8 Tagen keine weitere Ausdehnung.

Das Stäbchen aus Tab. 19 färbte das Wasser im Gefässe, in welchem es zur Quellung bewahrt wurde, stark dunkel, sodass die Vermuthung nahe liegt, dass es von einem mit Farbe behandelten Stücke stammen möchte. Es zeigt sich, wie das Stäbchen von Tab. 18, bei der zweiten Austrocknung beträchtlich kürzer und leichter als bei der ersten. Das Stäbchen aus Tab. 18 färbte das Wasser nicht.

7. Fichte.

Tabelle 20.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,48	0,36	0,18	—	—	—
Getrocknet 1 Tag. . . .	199,27	0,15	0,07	—	—	—
" 2 Tage	199,16	0,04	0,02	2,62	2	0,8
" 3 "	199,13	0,01	0,01	2,61	1	0,4
" 7 "	199,12	—	—	2,60	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Tg.	199,48	0,36	0,18	3,34	74	28,5
" " " " 16 "	199,52	0,40	0,20	3,37	77	29,8
Trocken	199,12	$\pm 0,00$	—	2,61	+1	—
Voll Waaser	199,52	0,40	0,20	7,42	482	185,8
Lufttrocken	199,48	0,36	0,18	3,05	45	17,5

Tabelle 21.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	201,01	0,23	0,11	2,77	32	13,0
Getrocknet 6 Tage . . .	200,79	—	—	2,45	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	201,03	0,24	0,12	2,97	52	21,3
" " " " 2 "	201,04	0,25	0,12	3,05	60	24,6
Trocken	200,80	+0,01	—	2,47	+2	—
Voll Wasser	201,02	0,23	0,12	6,80	435	177,9
Lufttrocken nach 65 Tag.	201,04	0,26	0,13	2,85	41	16,7

Tabelle 22.

Lufttrocken	200,84	0,34	0,17	3,02	44	17,3
Getrocknet	200,51	—	—	2,57	—	—
In gesätt. Luft nach 6 Std.	200,74	0,24	0,12	2,88	31	11,9
" " " " 1 Tg.	200,85	0,34	0,16	3,23	65	25,5
" " " " 2 "	200,86	0,35	0,17	3,33	76	29,6
Voll Wasser	200,86	0,35	0,17	7,20	463	179,9

8. Kiefer.

Tabelle 23.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,89	0,44	0,22	2,82	39	15,9
Getrocknet 3 Tage . . .	199,46	0,01	0,00	2,44	—	—
" " 5 " "	199,45	—	—	2,43	—	—
In gesätt. Luft nach 5 Tg.	200,04	0,59	0,29	3,09	65	26,9
" " " " 8 "	200,04	0,59	0,30	3,11	67	27,7
Voll Wasser	200,04	0,59	0,30	6,69	425	174,8
Getrocknet 3 Tage . . .	199,48	+0,03	—	2,40	-3	—
Lufttrocken nach 75 Tag.	199,93	0,47	0,24	2,82	39	16,1

Tabelle 24.

Lufttrocken	200,35	0,28	0,14	2,85	34	13,7
Getrocknet 6 Tage . . .	200,07	—	—	2,51	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	200,45	0,33	0,19	3,04	53	21,3
" " " " 2 "	200,50	0,43	0,22	3,14	63	25,3
" " " " 3 "	200,51	0,44	0,22	3,17	66	26,3
Getrocknet 4 Tage . . .	200,09	+0,02	—	2,53	+1	—
Voll Wasser	200,52	0,45	0,22	6,99	448	178,5
Lufttrocken nach 75 Tag.	200,43	0,37	0,18	2,95	44	17,6
" " 85 "	200,47	0,40	0,20	2,80	29	11,6

Beide Kiefernstäbchen aus Tab. 23 und 24 haben offenbar eine dauernde Veränderung erlitten, wie aus der Vergleichung der Längen und Gewichte zu Anfang und Ende der Tabellen hervorgeht.

Tabelle 25.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		1/100 g	Proc.
Lufttrocken	199,61	0,52	0,26	2,80	42	17,8
Trocken	199,09	—	—	2,37	—	—
In gesätt. Luft nach 6 St.	199,46	0,37	0,19	2,66	29	11,8
" " " " 1 Tg.	199,71	0,61	0,31	2,97	60	25,1
" " " " 2 "	199,76	0,67	0,34	3,01	64	27,0
" " " " 10 "	199,79	0,69	0,35	3,05	68	28,5
Voll Wasser	199,79	0,69	0,35	6,86	449	188,9
Lufttrocken	199,47	0,38	0,19	2,63	25	10,9

9. Linde.

Tabelle 26.

Lufttrocken	200,31	0,25	0,13	—	—	—
Trocken	200,04	—	—	2,60	—	—
In gesätt. Luft nach 2 Tg.	200,34	0,30	0,15	3,07	48	18,4
" " " " 9 "	200,35	0,31	0,16	3,32	72	27,9
" " " " 14 "	200,39	0,34	0,17	3,39	79	30,5
Trocken	200,02	-0,02	—	2,58	-1	—

Tabelle 27.

Lufttrocken	200,14	0,24	0,12	3,40	36	11,8
Getrocknet 6 Tage . . .	199,91	—	—	3,05	—	—
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	200,21	0,30	0,15	3,67	63	20,5
" " " " 2 "	200,23	0,32	0,16	3,82	78	25,5
Getrocknet 4 Tage . . .	199,91	±0,00	—	3,07	+2	—
Voll Wasser	200,21	0,30	0,15	7,13	330	108,5
Lufttrocken nach 65 Tag.	200,17	0,26	0,13	3,52	47	15,6

Das Stäbchen von Tab. 27 ist voll Wasser etwas kürzer als am 2. Tage in der gesättigten Luft; die Differenz ist aber in den Grenzen der möglichen Ablesungsfehler.

Tabelle 28.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		1/100 g	Proc.
Lufttrocken	200,04	0,30	0,15	3,05	39	14,6
Trocken	199,74	—	—	2,66	—	—
In gesätt. Luft nach 6 St.	199,80	0,07	0,03	2,87	21	7,8
" " " " 1 Tg.	200,05	0,31	0,15	3,26	60	22,6
" " " " 2 "	200,06	0,35	0,18	3,38	72	26,9
Voll Wasser	200,06	0,32	0,16	7,13	447	167,9

10. Birnbaum.

Tabelle 29.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100} \%$	Proc.
Lufttrocken	200,39	0,27	0,13	3,38	35	11,7
Getrocknet 4 Tage . .	200,12	—	—	3,03	—	—
In gesätt. Luft nach 6 St.	200,36	0,24	0,12	3,32	29	9,5
" " " 1 Tg.	200,47	0,35	0,17	3,72	69	22,8
Voll Wasser	200,47	0,35	0,17	6,51	348	114,9
Getrocknet 3 Tage . .	200,12	± 0,00	—	3,02	—1	—

Tabelle 30.

Lufttrocken	199,09	0,33	0,17	3,34	37	12,4
In gesätt. Luft nach 2 Tg.	199,25	0,49	0,25	3,83	86	28,9
" " " 3 "	199,27	0,51	0,26	3,87	89	30,1
Getrocknet 7 Tage . .	198,76	—	—	2,97	—	—
Voll Wasser	199,27	0,51	0,26	6,58	561	188,5

11. Apfelbaum.

Tabelle 31.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Längenunter- schiede gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen gegen den 1. trockenen Zu- stand in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100} \%$	Proc.
Lufttrocken	201,84	0,32	0,16	3,55	39	12,3
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	201,91	0,40	0,29	3,97	81	25,5
Trocken	201,51	—	—	3,17	—	—
Voll Wasser	s. Bemerkg.	—	—	6,26	—	—

Bemerkung: Marken zuletzt unsichtbar geworden.

Zusammenfassung der in den Tabellen 1—31 niedergelegten Resultate.

Am deutlichsten tritt aus den vorstehenden Tabellen offenbar der Umstand zu Tage, dass sämtliche der untersuchten Hölzer beträchtlichen Längenänderungen infolge von Feuchtigkeitseinwirkungen unterliegen. Bei Nussbaum- und Eichenholz sind diese Aenderungen sogar unerwartet hohe. Sämtliche Hölzer zeigen nach ihrer Austrocknung eine beträchtliche Verkürzung und Gewichtsabnahme, kehren dann mit zunehmender Wasserdampfaufnahme in den alten Längen-

zustand und das alte Gewicht zurück und überschreiten diesen Längenzustand unter fortgesetzter Aufnahme von Wasserdampf. Trägt man die in Procenten ausgedrückten Feuchtigkeits- und Längenzunahmen, vom ersten trockenen Zustande an gerechnet, als Abscissen, beziehentlich Ordinaten, in Coordinatenpapier ein und verbindet die zunächst gelegenen Punkte geradlinig, so ergeben sich gebrochene Linien, die, als Curven betrachtet, ihre convexe Seite nach oben wenden, wenn die Wasseraufnahme als Abscisse, die Ausdehnung als Ordinate aufgetragen wird (siehe Fig. 14). Die Tabellenangaben enthalten die angestellten Beobachtungen nur soweit, als die Hölzer noch Längenzunahme zeigten. Die Gewichtszunahme dauerte in allen Fällen noch so lange fort, als die Hölzer in der gesättigten Luft aufbewahrt wurden, d. h. 8—14 Tage. Nach Verlauf dieser Zeit zeigten sich die Hölzer mit Pilzen beschlagen und mussten aus der gesättigten Luft entfernt werden.

Die Feuchtigkeitsaufnahme wuchs rasch, solange die Hölzer das Maximum ihrer Länge noch nicht erreicht hatten, sie machte aber von diesem Zeitpunkte an nur noch langsame Fortschritte. So wog z. B. das Weissbuchenstäbchen von Tab. 11, welches in grösster Trockenheit das Gewicht 3274 mg hatte, in gesättigter Luft:

nach	5	8	11	14	18 Tagen
	4323	4337	4343	4349	4355 mg.

Am fünften Tage war die Längenausdehnung im wesentlichen beendet, während sie am achten Tage definitiv zu Ende war.

Das Fichtenstäbchen von Tab. 21, welches getrocknet das Gewicht 2447 mg hatte, wog in der gesättigten Luft:

am	1.	2.	3.	4. Tage
	2969	3050	3081	3105 mg.

Vom zweiten Tage an zeigte sich die Länge constant.

Es ist ferner bemerkenswerth, dass mit Ausnahme des Ebenholzes, welches höhere Werthe zeigt, die bis zur beendeten Längenausdehnung beobachtete Feuchtigkeitszunahme durchschnittlich etwa 30 Proc. des Gewichtes des trockenen Holzes beträgt.

Des weiteren geht aus den Tabellen hervor, dass die grössten Längenausdehnungen, deren die Hölzer in Richtung ihrer Fasern durch Feuchtigkeitsaufnahme, aus der mit Wasserdampf gesättigten Luft fähig sind, durch völlige Durchtränkung mit Wasser nicht weiter vergrössert werden können. Die Längenänderung erfolgt eben infolge der Feuchtigkeit, welche die Holzzellwand aufzunehmen vermag, während das Wasser, welches die Hohlräume des Holzes ausfüllt, für die Grössenänderung ohne Einfluss ist. Dass die Abweichung hiervon bei dem Nussbaumholze wahrscheinlich nur eine scheinbare ist, ist früher (p. 373) bemerkt worden.

Der Gedanke ist wohl naheliegend, dass der Zustand der Hölzer nach beendeter Längenausdehnung durch Feuchtigkeitsaufnahme aus der gesättigten Luft mit der hierzu erforderlichen Menge aufgenommenen Wasserdampfes dem Zustande des frischen Holzes am lebenden Baume entspricht.¹⁾

Besondere Erwähnung verdient fernerhin der Umstand, dass die Hölzer durch den Verlust sowohl, als die Aufnahme von Feuchtigkeit nicht dauernd verändert werden, sondern fähig sind, denselben Längenzustand mit dem entsprechenden Gewichte wiederholt anzunehmen.

IV. Längenänderungen der Hölzer infolge der Schwankungen der Luftfeuchtigkeit.

Die Empfindlichkeit der Hölzer für die Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit ist bei den Hölzern am grössten, welche im vorigen Abschnitt die grössten Längenänderungen infolge von Feuchtigkeitsaufnahme aus der gesättigten feuchten Luft aufwiesen. Allen Holzarten steht auch hier das Holz des Nussbaumes, welches bei einer Aenderung der relativen Luftfeuchtigkeit von 0,802 zu 0,570 bei einer Länge von ca. 200 mm eine Längendifferenz von fast 0,6 mm, also 0,3 Proc. der Länge zeigt.

1) Vgl. J. Sachs: Ueber die Porosität des Holzes. Arb. d. botan. Inst. in Würzb. 2. 1882.

Diese Beobachtungen wurden nur im Sommer angestellt, weil in dieser Jahreszeit die beträchtlichsten Schwankungen der Luftfeuchtigkeit vorzukommen pflegen und keine Zimmerheizung störend einwirkt. Die Bestimmungen der Feuchtigkeit wurden mit dem Psychrometer vorgenommen, sind natürlich aber mit den Unsicherheiten behaftet, welche sich bei solchen Beobachtungen innerhalb geschlossener Räume nicht vermeiden lassen. Die Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit fand unter Vernachlässigung der Barometerschwankungen nach der Formel statt:

$$f = f' - 0,64(t - t'),$$

wobei f' das Maximum der Luftfeuchtigkeit bei der Temperatur t' , und t die Zimmertemperatur bedeutet. Der Maassstab ist auf constante Temperatur reducirt. Die ersten drei Tabellen, 32, 33 und 34, enthalten die relative Luftfeuchtigkeit und die mittlere Länge des auf den vier Seiten gemessenen Stäbchens und einzelne zugehörige Gewichtsbestimmungen.

Die relative Luftfeuchtigkeit f/f_0 ist stets aus mehreren Psychrometerbeobachtungen als Mittelwerth berechnet worden. Eine dieser Psychrometerbeobachtungen wurde ungefähr eine Stunde vor Beginn der Messung, die andere unmittelbar vor oder nach dieser vorgenommen. f/f_0 ist das Maximum des möglichen Wassergehaltes bei der Lufttemperatur t .

Tabellen 32. 33. 34.

T a g $f f_0$ t	Nussbaum			Mahagoni			Ebenholz		
	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g
12. Juli 0,68 18,2	199,24		—	199,03		—	199,45		—
13. Juli 0,77 17,6	43	+ 0,19	—	07	+ 0,04	—	48	+ 0,03	—
14. Juli 0,80 17,5	51	+ 0,08	—	07	± 0,00	—	48	± 0,00	—
15. Juli 0,86 17,4	23	— 0,28	—	01	— 0,06	—	43	— 0,05	—
16. Juli 0,78 17,3		+ 0,20	—		+ 0,06	—		+ 0,04	—
	199,43		—	199,07		—	199,47		—
		± 0,00			± 0,00			± 0,00	

(Fortsetzung der Tabelle von p. 383.)

T a g	Nussbaum			Mahagoni			Ebenholz		
	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g
17. Juli	199,43	±0,00	3,53	199,07	±0,00	3,41	199,47	±0,00	4,54
0,76 16,6		+0,23			+0,02			+0,01	
21. Juli		+0,04			+0,03			+0,02	
0,80 20,4	66		—	09		—	48		—
22. Juli	71	—	—	12	—	—	49	—	—
0,82 21,2		-0,07			±0,00			-0,01	
26. Juli		63	3,57	12	3,43	48	4,58		
0,80 19,7	06	-0,57	3,45	01	-0,01	3,36	44	-0,04	4,50
29. Juli		+0,52			+0,09			+0,04	
0,57 18,6		58	3,56		10	3,42	48	4,58	
9. Aug.	17,4	-0,17	3,52	199,08	-0,02	3,40	199,46	-0,02	4,55
0,83									
12. Aug.									
0,70 18,4	199,41								

Tabellen 35. 36. 37.

T a g	Eiche			Linde			Kiefer		
	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Ge- wicht g
14. Juli	200,30		—	199,98		—	199,58		—
0,80 17,5		-0,03	—		±0,00	—		-0,05	—
15. Juli		27	—		199,98	—		53	—
0,66 17,4	33	+0,06	—	200,01	+0,03	3,02	57	+0,04	—
17. Juli		+0,09			+0,01			+0,03	
0,76 16,6		42	—		200,02	—		60	—
22. Juli	42	±0,00	3,04	200,03	+0,01	3,07	60	±0,00	2,82
0,81 21,2					-0,05			-0,09	
26. Juli		24	2,94		199,98	2,96		51	2,72
0,80 19,7	48	+0,24	3,01	200,01	+0,03	3,05	59	+0,08	2,80
29. Juli		-0,19			-0,04			-0,04	
0,57 18,6		29	2,97		199,97	3,00		55	2,75
9. Aug.	18,7	-0,61	2,58	199,74	-0,23	2,66	09	-0,46	2,37
0,58		+0,97			+0,32			+0,69	
Im Vacuum getrocknet									
199,68									
In gesättigter feuchter Luft	200,65		3,45	200,06		3,38	199,78		3,05

(Fortsetzung der Tabelle p. 385.)

Tag <i>f/f₀</i>	Fichte			Ahorn			Pappel		
	mittl. Länge mm	Diff. mm	Gewicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Gewicht g	mittl. Länge mm	Diff. mm	Gewicht g
26. Juli 0,80 19,7	200,83	+0,02	3,04	199,75	±0,00	4,36	201,00	-0,03	3,87
29. Juli 0,57 18,6	82	-0,01	2,93	72	-0,03	4,21	200,89	-0,11	3,73
9. Aug. 0,79 19,7	82	±0,00	3,02	75	+0,03	4,32	200,96	+0,07	3,84
12. Aug. 0,58 18,7	81	-0,01	2,97	199,73	-0,02	4,26	200,92	-0,04	—
Im Vacuum getrocknet	51	-0,30	2,57	—	—	—	—	—	—
In ges. f. Luft ausgedehnt	200,86	+0,35	3,33	—	—	—	—	—	—

Aus den vorstehenden Tabellen 32—43 ist ersichtlich, dass sich die Längen der untersuchten Hölzer ebenso wie deren Gewichte in beträchtlicher Weise im Sinne der veränderlichen relativen Luftfeuchtigkeit verändern, und zwar ist nahezu Proportionalität vorhanden. Dass diese Proportionalität sich nur annähernd nachweisen lässt, liegt, abgesehen von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern, wohl hauptsächlich daran, dass die Holzstäbchen ihren Feuchtigkeitszustand und damit Länge und Gewicht nicht so rasch wechseln können, als sich der relative Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft ändert. Tritt aber ein Wechsel im relativen Feuchtigkeitsgehalte der umgebenden Luft ein, so werden sich zunächst die äussersten Faserschichten der Hölzer dieser Aenderung anpassen, während die inneren Schichten erst später nachzufolgen vermögen. Diese unvermeidliche Fehlerquelle ist natürlich auch bei den im vorigen Abschnitte mitgetheilten Untersuchungen wirksam gewesen, hat sich jedoch dort nicht so störend erweisen können, weil es sich dort um stärkere Differenzen handelt, und die Hölzer sich lange Zeit in der gesättigten feuchten Luft befanden. Der Fehler wird jedenfalls um so grösser, je stärker die untersuchten Stäbe gewählt werden.

Dass sich die Schwankungen der Längen dem relativen Feuchtigkeitsgehalte der Luft proportional verhalten würden, war von vornherein wahrscheinlich. Die Hölzer besitzen, wenn der Ausdruck erlaubt ist, eine gewisse hygroskopische Kraft. Diese Kraft wird um so mehr Feuchtigkeit anziehen können, je näher die Luft ihrem Sättigungspunkte ist, sie wird die Feuchtigkeit um so weniger festzuhalten im Stande sein, je mehr der Sättigungsgrad der Luft herabsinkt.

Am unempfindlichsten gegen Längenänderungen, dabei aber ziemlich empfindlich für Gewichtsänderungen im Sinne der schwankenden relativen Luftfeuchtigkeit, zeigen sich Ahorn, Rothbuche, Kiefer und Fichte. Diese Holzarten dürften sich daher zur Anfertigung hölzerner Maassstäbe am meisten empfehlen. Als praktisches Resultat ergibt sich aus den beiden vorstehenden Abschnitten, dass Holz als ein geeignetes Material für Anfertigung von Maassstäben oder auch für Träger von solchen nicht betrachtet werden kann. Für feinere Messzwecke muss es überhaupt als untauglich erklärt werden, es sei denn, dass es in Räumen und unter Umständen gebraucht werde, welche einen Wechsel der relativen Luftfeuchtigkeit nicht gestatten. Es mag gestattet sein, bei dieser Gelegenheit darauf hinzuweisen, dass in Anbetracht der vorkommenden grossen Längendifferenzen, welche Hölzer in feuchtem und trockenem Zustande aufweisen, jeder Holzdielenbelag in physikalischen Beobachtungsräumen auf die Genauigkeit der Resultate störend einwirken kann. Als Vorsichtsmaassregel möchte zu empfehlen sein, die Dielenbretter nicht in Längen von mehreren Metern aus einem Stücke, sondern in Aneinandersetzungen von kürzeren Brettern zu verwenden.

V. Verhalten von Ahorn, Rothbuche, Pappel und Pflaume.

Das Holz von Ahorn, Rothbuche, Pappel und Pflaumenbaum zeigte sich bei den Untersuchungen abweichend von dem Verhalten der im dritten Abschnitte behandelten Holzarten. Während letztere Hölzer nach der durch die Austrocknung hervorgerufenen Verkürzung sich durch Wasserdampfaufnahme wieder soweit verlängerten, dass sie den

ursprünglichen Längenzustand, den sie lufttrocken besaßen, wieder erreichten und bei weiterer Wasserdampfaufnahme überschritten, vermochten die obengenannten Hölzer den ursprünglichen lufttrockenen Längenzustand nach der Austrocknung nicht wieder zu erreichen, obwohl sie an Gewicht infolge von aufgenommenem Wasserdampf erheblich zunahmen. Dabei ist jedoch bemerkenswerth, dass die Ursache dieser Erscheinung bei dem Pflaumenholz eine andere zu sein scheint, als bei den übrigen Holzarten, die die gleiche Eigenthümlichkeit aufweisen. Ahorn, Rothbuche und Pappel zeigen nach der infolge von Wasserentziehung bemerkbaren Zusammenschrumpfung bei erneuter Wasseraufnahme wohl eine Längenzunahme, diese Zunahme bleibt aber kleiner, als die vorherige Einschrumpfung war. Wurden Stäbchen aus diesen Holzarten, ohne vorherige Austrocknung, in gesättigte feuchte Luft oder ins Wasser gebracht, so zeigten sie bei Gewichtszunahme auch eine Längenzunahme. Eine zweite Austrocknung führte bei diesen Hölzern gewöhnlich zu viel beträchtlicheren Verkürzungen, als bei der ersten Austrocknung erreicht werden konnte. Bei keinem dieser Hölzer war es jedoch möglich, nachzuweisen, dass eine Verkürzung infolge von Wasseraufnahme stattfand.

Anders liegen die Verhältnisse jedoch bei den untersuchten Pflaumenholzstäbchen. Auch hier wird nach erfolgter Austrocknung bei erneuter Wasseraufnahme zuerst eine Längenzunahme bemerkbar, welche aber hinter dem Betrage der erst erfolgten Verkürzung zurückbleibt, es zeigt sich jedoch, dass bei weiterer Wasserdampfaufnahme sich das Stäbchen von neuem verkürzt.

Mit dieser Beobachtung stimmt auch die Thatsache überein, dass ein in lufttrockenem Zustande befindliches Stäbchen, nachdem es in die gesättigte feuchte Luft gebracht war, unter wachsendem Gewichte eine deutliche Abnahme der Länge zeigte.

Allen diesen Hölzern ist offenbar durch die völlige Wasserentziehung eine innere dauernde Veränderung zugefügt worden, welche sich durch nachherige erneute Aufnahme von Wasser nicht wieder ausgleichen lässt. Bei dem Pflaumen-

hol
W
me
in
we
Ve
tur
sir
ma

Luft
Getr
In g
na
Voll
Getr
Nach

Luft
Getr
In g
na
Getr
Voll

Luft
In g
na
Getr

Luft
In g
Getr

holz tritt die merkwürdige Erscheinung hinzu, dass es durch Wasseraufnahme kürzer zu werden vermag. Sogar die Pflaumenholzstäbchen, welche in lackirtem und polirtem Zustande in die gesättigte feuchte Luft gebracht wurden, zeigten eine weit über die möglichen Beobachtungsfehler hinausgehende Verkürzung, nachdem die Feuchtigkeit durch Lack und Politur diffundirt war (siehe nächsten Abschnitt). Im Folgenden sind einige Tabellen aus dem zahlreicheren Beobachtungsmaterial aufgeführt, aus denen obige Ausführungen erhellen.

Ahorn.

Tabelle 44.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,62	+0,31	0,15	4,07	45	12,4
Getrocknet 5 Tage . . .	199,31	—	—	3,62	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Tagen	199,58	+0,26	0,13	4,68	106	29,3
" 9 "	199,59	+0,28	0,14	4,69	107	29,5
Voll Wasser	199,58	+0,26	0,13	7,62	399	110,2
Getrocknet	199,31	±0,00	—	3,55	—7	—
Nach 65 Tag. lufttrocken	199,64	+0,33	0,16	4,15	53	14,6

Tabelle 45.

Lufttrocken	199,76	0,28	0,14	4,33	62	16,7
Getrocknet 5 Tage . . .	199,48	—	—	3,71	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden	199,67	0,19	0,10	4,04	33	8,8
" 1 Tage	199,67	0,19	0,10	4,40	69	18,6
" 4 Tagen	199,70	0,22	0,11	4,94	123	38,0
Getrocknet 6 Tage . . .	199,51	+0,03	—	3,71	—0	—
Voll Wasser	199,70	0,19	0,10	7,46	375	100,9

Tabelle 46.

Lufttrocken	200,87	0,43	0,21	2,88	34	13,7
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden	201,02	0,58	0,29	2,95	47	18,7
" 1 Tage	201,12	0,67	0,34	3,17	68	27,4
" 2 Tagen	201,13	0,69	0,34	3,21	73	29,2
Getrocknet 4 Tage . . .	200,44	—	—	2,48	—	—

Tabelle 47.

Lufttrocken	200,81	0,53	0,26	2,94	41	16,3
In gesätt. Luft nach 1 Tg.	200,96	0,68	0,34	3,19	66	26,3
" " " " 5 "	201,02	0,74	0,37	3,65	112	35,4
Getrocknet 6 Tage . . .	200,28	—	—	2,53	—	—

Rothbuche.

Tabelle 48.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,24	0,63	0,32	4,61	65	16,4
Getrocknet 5 Tage . .	198,60	—	—	3,96	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden . . .	198,79	0,19	0,10	4,26	30	7,6
" 1 Tage	199,07	0,47	0,24	4,70	74	18,6
" 2 Tagen	199,08	0,48	0,24	5,13	117	29,5
" 5 "	199,13	0,53	0,27	5,32	135	34,2
Getrocknet 6 Tage . .	198,25	-0,35	-0,17	3,97	+1	—
Voll Wasser	198,85	0,25	0,13	7,82	386	97,4

Besonders auffällig ist in vorstehender Tabelle die starke Einschrumpfung bei der zweiten Austrocknung, obwohl fast genau das Gewicht wie bei der ersten Austrocknung vorhanden ist.

Tabelle 49.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,77	0,59	0,29	4,52	55	13,9
Getrocknet 3 Tage . .	199,21	0,03	0,01	3,98	1	—
" 6 "	199,19	—	—	3,97	—	—
In gesätt. Luft nach 5 Tg.	199,53	0,34	0,17	5,29	132	33,2
Voll Wasser	199,42	0,24	0,12	7,81	384	96,7
Getrocknet 3 Tage . .	198,47	-0,72	-0,36	3,98	1	—
Lufttrocken nach 65 Tag.	198,91	-0,28	0,14	4,59	62	15,6

Auch hier ist bei der zweiten Austrocknung fast genau das Gewicht wie bei der ersten Austrocknung vorhanden, aber die Einschrumpfung bei der zweiten Austrocknung ist noch grösser als bei der vorigen Tabelle.

Tabelle 50.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	199,83	0,40	0,20	2,75	36	15,3
In ges. feucht. Luft n. 1 T.	199,95	0,52	0,26	2,99	60	25,2
" " " " 6 " . .	200,00	0,58	0,29	3,12	74	31,0
Getrocknet 6 Tage . .	199,43	—	—	2,38	—	—
Voll Wasser	200,01	0,57	0,29	5,80	341	143,1

Tabelle 51.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	200,19	0,62	0,31	2,69	31	13,0
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden	200,32	0,75	0,38	2,82	44	18,3
" 1 Tage	200,45	0,88	0,44	3,03	65	27,3
" 2 Tagen	200,48	0,91	0,46	3,05	67	28,3
" 3 "	200,48	0,91	0,46	3,16	78	32,6
" 4 "	200,48	0,92	0,46	3,19	81	34,2
Getrocknet $\frac{1}{2}$ Tag . . .	200,06	0,50	0,45	2,62	24	10,0
" 6 Tage	199,57	—	—	2,38	—	—
Voll Wasser	200,48	0,92	0,46	5,80	342	143,9

In Tab. 50 und 51 ist bemerkenswerth, dass die Hölzer nach der Austrocknung im Wasser genau die Länge annehmen, welche sie in der gesättigten feuchten Luft angenommen hatten.

Pappel.

Tabelle 52.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	200,94	0,63	0,21	3,84	54	16,5
Getrocknet 5 Tage . . .	200,30	—	—	3,30	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden	200,46	0,15	0,07	3,55	25	7,6
" 1 Tage	200,68	0,37	0,18	3,90	60	18,2
" 3 Tagen	200,74	0,43	0,21	4,20	91	27,5

Tabelle 53.

Lufttrocken	200,51	0,35	0,18	3,30	43	15,1
Getrocknet 5 Tage . . .	200,16	—	—	2,87	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 3 Tagen	200,23	0,07	0,04	3,74	87	30,4
Voll Wasser	200,23	0,07	0,04	6,98	411	143,5
Getrocknet 3 Tage . . .	199,32	-0,84	-0,42	2,90	3	—
Lufttrocken nach 65 Tag.	199,57	-0,59	-0,29	3,33	47	16,3

Tabelle 54.

Lufttrocken	198,90	0,40	0,20	2,80	35	14,0
In gesätt. feucht. Luft						
nach 1 Tage	198,95	0,44	0,22	3,06	60	24,6
" 2 Tagen	198,96	0,45	0,23	3,17	72	29,4
Getrocknet 6 Tage . . .	198,51	—	—	2,45	—	—
Voll Wasser	198,94	0,43	0,22	6,00	355	144,6

Tabelle 55.

Zustand des Holzes	Mittlere Länge in mm	Verlängerungen gegen den 1. trockenen Zu- stand in		Ge- wichte in g	Gewichtsdifferen- zen vom 1. trockenen Zu- stande aus in	
		mm	Proc.		$\frac{1}{100}$ g	Proc.
Lufttrocken	202,47	0,86	0,18	2,94	32	12,21
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden . . .	202,52	0,42	0,21	3,07	45	17,1
" 1 Tage	202,57	0,46	0,23	3,32	70	26,8
" 2 Tagen	202,58	0,47	0,23	3,39	78	29,6
" 3 "	202,58	0,47	0,23	3,43	81	31,1
Getrocknet $\frac{1}{4}$ Tag . . .	202,42	0,31	0,38	2,87	26	9,8
" 6 Tage	202,11	—	—	2,62	—	—
Voll Wasser	202,58	0,47	0,23	6,27	365	139,3

Pflaumenbaum.

Tabelle 56.

Lufttrocken	198,30	0,27	0,17	3,53	37	11,8
Getrocknet 4 Tage . . .	198,04	—	—	3,16	—	—
In gesätt. feucht. Luft						
nach 6 Stunden . . .	198,24	0,20	0,10	3,42	26	8,3
" 1 Tage	198,22	0,18	0,09	3,86	70	22,6
" 2 Tagen	198,18	0,14	0,07	3,96	80	25,7
" 3 "	198,16	0,12	0,06	3,99	83	26,8
Voll Wasser	198,16	0,12	0,06	6,70	354	114,4
Getrocknet 4 Tage . . .	197,98	-0,06	-0,03	3,16	—	—

Tabelle 57.

Lufttrocken	199,95	0,11	0,05	4,42	46	11,7
In gesätt. feucht. Luft						
nach 1 Tage	199,95	0,10	0,05	4,72	77	19,5
" 2 Tagen	199,91	0,06	0,03	4,79	83	21,0
" 3 "	199,90	0,02	0,01	4,84	88	22,2
Trocken	199,85	—	—	3,96	—	—
Voll Wasser	199,88	0,04	0,02	6,53	257	63,6

VI. Verhalten von polirten, lackirten und ölgetränkten
Hölzern.

Nach den bisher angestellten Untersuchungen lag die praktische Frage nahe, ob die Hölzer durch eine geeignete Behandlung, als z. B. Politur, Lacküberzug, Paraffin- oder Öltränkung wirksam gegen den längenändernden Einfluss der Feuchtigkeit geschützt werden könnten. Es wurden einige Stäbchen von denselben Dimensionen, die bisher angewendet wurden, aus verschiedenen Holzarten hergestellt und sorg-

fältig und allseitig polirt, lackirt oder mit Leinöl, resp. Paraffin getränkt. Die bei gewöhnlicher Temperatur getränkten Hölzer blieben drei Tage im Oele liegen, die im heissen Leinöl getränkten Stäbchen blieben einige Minuten in dem siedenden Oele.

Das Resultat dieser Versuche besteht darin, dass sich keines der auf die angegebene Art behandelten Holzstäbchen unempfindlich gegen die Feuchtigkeitseinflüsse erwies. Nachdem die Stäbchen einige Zeit in gesättigter feuchter Luft gewesen waren, zeigten sie ausnahmslos Gewichts- und Längenänderungen wie die nicht behandelten Hölzer, nur in schwächerem Maasse. Besonders stark ist durch Politur und Lacküberzug die Ausdehnung des Nussbaumholzes verringert worden. Die Stäbchen wurden nur wenige Tage in der gesättigten feuchten Luft gelassen, während dieser Zeit zeigten sich Politur und Lacküberzug wohl erhalten.

Tabelle 58.

Art des Holzes	Art der Behandlung	L ä n g e n		G e w i c h t e	
		trocken mm	4 Tage in gesätt. Luft mm	trocken g	4 Tage in gesätt. Luft g
Nussbaum	Paraffintränkung	200,98	203,06	3,79	4,67
"	Politur	201,00	201,13	2,71	3,18
"	Lacküberzug	198,75	198,80	2,52	2,73
Mahagoni	Paraffintränkung	197,29	197,66	3,74	4,23
"	Leinöltränkung	198,84	199,07	3,61	4,07
"	Tränkung mit heissem Leinöl	197,55	197,81	3,42	3,81
"	Politur	199,16	199,53	2,86	3,20
"	Lacküberzug	198,39	198,49	2,63	2,84
Eiche	Paraffintränkung	199,54	199,95	2,55	2,98
"	Politur	198,61	198,94	2,55	2,96
"	Lacküberzug	198,58	198,77	2,32	2,53
Pappel	Tränkung mit heissem Leinöl	201,40	201,61	2,72	3,26
Pflaumen- baum	Politur	197,94	197,86	3,12	3,50
	Lacküberzug	198,55	198,51	3,00	3,22

Der Einfluss der Paraffintränkung selbst auf den Längen-
zustand war nicht festzustellen, da sich die Marken im
heissen Paraffin auflösten. Die mit Paraffin behandelten
Hölzer zeigten sich gleichmässig mit Paraffin durchdrungen

und überall einen glänzenden, fettigen Schnitt. Jedoch war allenthalben nur die Zellwand durchdrungen, die Zelllumina zeigten sich offen. Es ist bemerkenswerth, dass die Behandlung mit Paraffin die Hölzer am wenigsten vor dem Feuchtigkeitseinflusse bewahrte, obwohl sie am tiefsten in die Hölzer eindrang.

Beide Pflaumenholzstäbchen zeigen sich nach der durch Diffusion stattgefundenen Wasseraufnahme verkürzt.

Die Paraffintränkung gewährt keinen Schutz vor der Feuchtigkeit und der infolge davon stattfindenden Längenänderung. Auch die Tränkung mit Leinöl und Politur schützt nur in geringem Grade. Den relativ besten Schutz gewährt offenbar der Lacküberzug, weshalb sich dieser für hölzerne Maassstäbe besonders empfehlen dürfte.

VII. Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf Elfenbein.

Als Untersuchungsstück diente ein in der Längenrichtung des Zahnes ausgeschnittenes Lineal von 15 mm Breite, 2 mm Stärke und 300 mm Länge. Die Marken waren in derselben Weise wie auf den Holzstäbchen in Siegellack eingerissen, der aufgelöst aufgetragen worden war. Das Ausstroknern erfolgte im Recipienten der Quecksilberluftpumpe. Das Stäbchen wurde auf seinen beiden Breitseiten gemessen und aus diesen Messungen das Mittel genommen.

Tabelle 59.

	Mittl. Länge mm	Ge- wichte g	Längenunter- schiede v. trock. Zustande aus	Gewichts- untersch. v. tr. Zust. aus
Lufttrocken	202,91	18,21	0,94%	11,9%
Getrocknet 1 Tag . . .	201,56	16,96	0,27 "	4,0 "
" 2 Tage . . .	201,34	16,61	0,11 "	1,8 "
" 3 "	201,01	16,31	—	— "
In ges. feucht. Luft 1 Tag	201,47	16,89	0,23 "	3,5 "
" " " 3 Tage	203,37	19,20	1,17 "	17,7 "
" " " 4 " . . .	203,39	19,41	1,18 "	19,0 "

Die Längen zeigen sich den Gewichten sehr nahezu proportional. Elfenbein ist also in hohem Maasse hygroskopisch, wird nur von wenigen Hölzern in dieser Hinsicht über-

troffen und eignet sich daher wenig als Material für Maassstäbe.¹⁾

VIII. Schlussübersicht.

1) Innerhalb gewisser Grenzen erweist sich die Länge der Hölzer in Richtung ihrer Fasern abhängig vom dem Wassergehalte der Holz Zellwand, und zwar kann bei einer Wasseraufnahme von 20—30 Proc. die Längenzunahme je nach der Holzart 0,1 bis 2 Proc. betragen.

2) Die Hölzer sind am kürzesten, wenn ihnen alles Wasser entzogen ist.

3) Trockene Hölzer sind in hohem Grade hygroskopisch.

4) Die grösste Länge erreichen die Hölzer durch Aufnahme von Wasserdampf aus mit letzterem gesättigter Luft, oder durch völlige Durchtränkung mit Wasser.

5) Im allgemeinen wächst die Länge der Hölzer mit der Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes vom trockenen Zustande aus. Nachdem die Hölzer ihren grössten Längenzustand erreicht haben, dauert die Feuchtigkeitsaufnahme aus der gesättigten Luft zwar fort, geht aber viel langsamer als vordem vor sich.

6) Einige Hölzer vermögen nach ihrer völligen Austrocknung den Längenzustand, welchen sie lufttrocken besaßen, nicht wieder zu erreichen. Besonders merkwürdig ist das Verhalten des Pflaumenbaumholzes, welches nach Erreichung eines gewissen Maximums, umgekehrt proportional der Feuchtigkeitszunahme, an Länge abnimmt.

7) Längenzustand und Gewicht der Hölzer wachsen mit der relativen Feuchtigkeit der Luft und verkleinern sich mit derselben (siehe Tab. 62).

8) Die üblichen Behandlungsweisen der Hölzer mit Politur, Öltränkung, Lackirung vermögen die Hölzer vor dem Einflusse des Wasserdampfes der gesättigten Luft nicht zu bewahren. Den besten Schutz gewährt die Lackirung.

9) Elfenbein ist in der Längsrichtung des Zahnes star-

1) F. Kohlrausch, Wied. Ann. 24. p. 24. 1885.

ken Längenänderungen im Sinne der Feuchtigkeitsänderungen unterworfen.

Als praktische Folgerung ergibt sich aus diesen Resultaten, dass bei der Verwendung von Holz zur Anfertigung von Maassstäben Vorsicht in der Auswahl der Holzarten durchaus geboten ist. Nussbaum, Mahagoni und Eiche sind für Messungszwecke überhaupt unverwendbar. Am besten dürfte sich Ahorn, Rothbuche, Fichte und Linde eignen. Diese Hölzer zeigen auch nur geringe Längenschwankungen infolge von Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit. Stets sollten aber Hölzer, die zu Messungszwecken verwendet werden, mit einem sorgfältigen Lacküberzug versehen werden. Auch bei der Verwendung von Elfenbein zu Maassstäben ist Vorsicht geboten.

Nachstehend folgen zwei Tabellen, von denen die erste die in den Tabellen 1—31 und 44—57 enthaltenen grössten Längenunterschiede mit den entsprechenden Gewichtsdimensionen, beide in Procenten enthält; in der zweiten sind die aus den Tabellen 32—43 ersichtlichen grössten Längenunterschiede zusammengestellt, welche die Hölzer infolge der Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit zeigten.

Tabelle 60.

Nr. d. Tab.	Zunahmen in Längen	Proc. der Gewichte	Nr. d. Tab.	Zunahmen in Längen	Proc. der Gewichte
1. Nussbaum	2,08	35,1	18. Ebenholz	0,25	48,9
2. "	1,85	37,1		(0,23)	(39,4)
3. "	0,99	34,8	19. "	0,15	12,5
4. "	1,12	37,0	20. Fichte	0,20	29,8
5. Mahagoni	0,56	25,7	21. "	0,12	24,6
6. "	0,56	20,4	22. "	0,17	29,6
7. "	0,33	21,4	23. Kiefer	0,30	27,7
8. Eiche	0,35	37,9	24. "	0,22	26,3
9. "	0,45	24,4	25. "	0,35	28,5
10. "	0,49	33,7	26. Linde	0,17	30,5
11. Weissbuche	0,34	32,5	27. "	0,16	25,5
12. "	0,33	32,1	28. "	0,18	26,9
13. "	0,42	31,0	29. Birne	0,17	22,8
14. Erle	0,35	39,0	30. "	0,26	30,1
15. "	0,28	28,2	31. Apfel	0,20	25,5
16. "	0,34	30,0			
17. Ebenholz	0,15	51,4			
	(0,14)	(17,4)			

Tabelle 61.

Nr. d.Tab.	Zunahmen in Proc. der		Nr. d.Tab.	Zunahmen in Proc. der	
	Längen	Gewichte		Längen	Gewichte
44. Ahorn	0,15*	12,4*	51. Rothbuche	0,46	34,0
45. "	0,14*	16,7*	52. Pappel	0,21*	16,5*
46. "	0,34	29,2	53. "	0,18*	15,1*
47. "	0,37	35,4	54. "	0,23*	29,4*
48. Rothbuche	0,32*	16,4*	55. "	0,23	31,1
49. "	0,29*	13,9	56. Pflaumen- holz	0,17	11,8
50. "	0,29	31,0	57. "	0,05	11,7
			59. Elfenbein	1,18	19,0

NB. Die Zahlen, welche mit * versehen sind, beziehen sich auf den Unterschied zwischen dem lufttrockenen Zustand und der ersten Austrocknung.

Tabelle 62.

Relat. Luftfeuch- tigkeit	Längendiff. Proc.	Relat. Luftfeuch- tigkeit	Längendiff. Proc.
Nussbaum	0,814 0,570	Erle	0,814 0,665
Mahagoni	0,814 0,570	Eiche	0,798 0,584
Ebenholz	0,814 0,665	Linde	0,798 0,584
Fichte	0,798 0,765	Ahorn	0,814 0,665
Weissbuche	0,814 0,570	Kiefer	0,798 0,570
Rothbuche	0,814 0,570	Pappel	0,814 0,570

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Hrn. Prof. Dr. F. Kohlrausch für die Anregung zu dieser Arbeit und die fortdauernd freundliche Unterstützung beim Verlaufe der Beobachtungen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Phys. Inst. der Univ. Würzburg.

**X. Eine neue Form des Electrodynamometers;
von R. Börnstein.**

Der physikalischen Gesellschaft zu Berlin mitgetheilt am 17. Febr. 1888.

In der bisherigen Form des Electrodynamometers dient die Ablenkung der beweglichen Drahtrolle als Maass für die zweite Potenz der Stromstärke. Da es mitunter wünschenswerth sein kann, die erste Potenz der Stromstärke aus der Ablenkung direct zu entnehmen, so ist für diesen Fall die nachfolgend beschriebene Einrichtung vielleicht von Interesse.

Das Dynamometer wird so aufgestellt, dass die Drehungsaxe der beweglichen Rolle in die Richtung der erdmagnetischen Kraft fällt, und dass also eine Einwirkung des Erdmagnetismus nicht stattfindet. Diese Drehungsaxe besteht aus einem eisernen Stabe, welcher nahe an seinem unteren Ende die bewegliche Rolle trägt und aufwärts durch die feste Rolle hindurch verlängert ist. Sein unteres, spitzes Ende ruht auf einer kleinen, eisernen Pfanne im Innern des Rahmens, der die Windungen der festen Rolle trägt. Diese Pfanne ist isolirt im Rahmen befestigt und dient zur Zuleitung des Stromes in die bewegliche Rolle; die Ableitung erfolgt am oberen Ende der Drehaxe, welches halbkreisförmig gekrümmt und mit einer Spitze versehen ist, die genau in der geometrischen Drehaxe liegt und auf einer an isolirtem Halter angebrachten eisernen Pfanne ruht. Die beiden Enden der Axe sind durch zwischengelagerte Hartgummitheile voneinander isolirt und mit den Drahtenden der beweglichen Rolle verbunden.

Zwischen dem oberen Ende der Drehaxe und derjenigen Stelle, an welcher sie aus der festen Rolle austritt, ist an ihr eine Schnur und ein gekrümmter Hebel befestigt, welche beide nach unten hin gerichtet sind und in einer zur Drehaxe senkrechten Ebene liegen, sowie zur Erhaltung indifferenten Gleichgewichtes ein dem Hebel entsprechender aufwärts gerichteter Stab. Die Schnur führt über ein zur Seite auf festen Ständern angebrachtes Paar von Messingrollen und trägt an ihrem herabhängenden freien Ende ein

Gewicht Q . Der Hebel ist mit einer Nuth versehen und so gekrümmt, dass bei Drehung der Axe um einen Winkel α die Schnur sich an den Hebel anlegt, unter Emporheben des Gewichtes Q , und dass alsdann das Loth p von der Axe auf den geradlinig gespannten Theil der Schnur (resp. auf dessen Verlängerung) proportional ist mit $\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha$.

Dies Loth stellt gleichzeitig den Hebelarm dar, an welchem das Gewicht Q im Sinne einer Verkleinerung von α wirkt.

Wird nun ein Strom von der Intensität i durch beide Rollen des Dynamometers geführt, so dreht derselbe vermittelt electrodynamischer Wechselwirkung die bewegliche Rolle um einen Winkel α , und zwar bei passender Schaltung in solchem Sinne, dass das Gewicht Q gehoben wird. Es tritt Gleichgewicht ein, sobald die mit der Drehung zunehmende Wirkung dieses Gewichtes der electrodynamischen Wirkung gleichkommt. Das Drehungsmoment der electrodynamischen Kraft wird gemessen durch $i^2 \cos \alpha$, dasjenige, welches vom Gewicht Q herrührt, ist gleich pQ , also proportional mit $Q \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha$; und folglich findet bei Gleichgewicht die Beziehung statt:

$$ci^2 \cos \alpha = Q \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha,$$

wobei c eine Constante ist. Daraus folgt:

$$i = \sqrt{\frac{Q}{c}} \operatorname{tg} \alpha.$$

Also ist die trigonometrische Tangente des Ausschlagswinkels proportional der ersten Potenz der Stromstärke.

Die Ablenkung erfolgt immer nur in einem Sinne, unabhängig von der Stromrichtung. Die Empfindlichkeit kann durch geeignete Wahl des Gewichtes Q verändert werden. Bei Aufhören des Stromes wird die bewegliche Rolle durch das Gewicht Q zurückgedreht und legt sich gegen einen die Ruhelage fixirenden Anschlag.

Will man nicht durch einen Drehungswinkel, sondern durch lineare Ablenkung die Stromstärke messen, so kann

für diesen Zweck an der Drehaxe eine senkrecht von ihr abstehende und schräg nach unten gerichtete Gabel angebracht werden, zwischen deren beiden Zinken eine zur Drehaxe parallele Rolle sich befindet. Diese Rolle ist drehbar und mit ihrem unteren Ende an einem horizontalen Stabe befestigt, welcher durch Leitrollen auf horizontale Bewegung in seiner eigenen Längsrichtung beschränkt ist. Seine Verschiebung im Falle einer Ablenkung ist proportional mit $\tan \alpha$ und also ein Maass für die Stromstärke i .

Um den Apparat als Electricitätszähler zu verwenden, kann der horizontal bewegliche Stab mit einem Linearplanimeter verbunden werden. Liest man dann zu verschiedenen Zeiten die Stellung der Planimeterrolle ab, so ergibt die Differenz zweier Ablesungen für die Zwischenzeit die Grösse *s* idt.